

**ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

**DOTTORATO DI RICERCA IN INGEGNERIA AGRARIA
CICLO XIX**

Indirizzo di ricerca: Costruzioni rurali e territorio agroforestale (SSD AGR/10)

**LE PRINCIPALI METODOLOGIE DI
PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTE
RINNOVABILE: APPLICABILITÀ AL CASO
STUDIO DELLA COMUNITÀ MONTANA
ACQUACHETA.**

Tesi di Dottorato di
ing. Marco Ricci

Coordinatore
Chiar.mo Prof.
ADRIANO GUARNIERI

Relatore
Chiar.ma Prof.ssa
PATRIZIA TASSINARI

ANNO ACCADEMICO 2006-2007

INDICE

CAPITOLO 1

1.1 Le energie rinnovabili	1
<i>1.1.1 Inquadramento internazionale</i>	<i>1</i>
<i>1.1.2 Il quadro normativo nazionale</i>	<i>1</i>
<i>1.1.3 La produzione di energia rinnovabile in Italia</i>	<i>3</i>
<i>1.1.4 La produzione ed il consumo di energia elettrica in Emilia Romagna</i>	<i>5</i>
<i>1.1.5 La produzione di energia eolica</i>	<i>7</i>
1.2 Obiettivi dello studio	10

CAPITOLO 2

Le principali tecniche di produzione di energie rinnovabili

2.1 Gli impianti idroelettrici	13
<i>2.1.1 Definizioni e classificazioni degli impianti.</i>	<i>13</i>
<i>2.1.2 Potenza e rendimento di un impianto</i>	<i>15</i>
<i>2.1.3 Progetto di un impianto.</i>	<i>15</i>
<i>2.1.4 Caratteristiche delle turbine idrauliche: .</i>	<i>16</i>
<i>2.1.5 Cenni sull'impatto ambientale.</i>	<i>18</i>
<i>2.1.6 Applicazioni</i>	<i>19</i>
<i>2.1.7 Considerazioni Economiche.</i>	<i>19</i>
2.2 Gli impianti fotovoltaici	20
<i>2.2.1 Caratteristiche tecniche</i>	<i>21</i>
<i>2.2.2 Principio di funzionamento</i>	<i>22</i>
<i>2.2.3 Fattori che influenzano la produzione</i>	<i>27</i>
<i>2.2.4 Il rendimento (efficienza)</i>	<i>28</i>
<i>2.2.5 L'accumulo nei sistemi fotovoltaici</i>	<i>29</i>
2.3 Termovalutatori a biomassa	33
<i>2.3.1 Conversione per l'utilizzo.</i>	<i>33</i>
<i>2.3.2 Prestazioni</i>	<i>36</i>
<i>2.3.3 Impatto sull'ambiente</i>	<i>37</i>
<i>2.3.4 Costruzione e gestione dell'impianto</i>	<i>38</i>
2.4 Parchi eolici	41
<i>2.4.1 Analisi fisica della risorsa eolica</i>	<i>41</i>
<i>2.4.2 La ricerca tecnologica per lo sfruttamento dell'energia eolica</i>	<i>47</i>
<i>2.4.2 Principio fisico</i>	<i>48</i>
<i>2.4.4 Conversione meccanico-elettrica: il generatore.</i>	<i>55</i>
<i>2.4.5 Il generatore sincrono</i>	<i>56</i>
<i>2.4.6 Il generatore asincrono</i>	<i>57</i>

2.4.7 Prestazioni degli aerogeneratori.	57
2.4.8 Impatto Ambientale.	59
2.4.9 Autorizzazione di un impianto eolico.	61
2.4.10 Costruzione.	61
Solare passivo e solare termico	63
2.5.1 Materiali e spessori	65
2.5.2 Collettori termici	66
CAPITOLO 3	
Analisi dell'area studio	
3.1 Inquadramento socio-economico	70
3.2 Inquadramento delle attività produttive agricole e industriali	71
3.3 Inquadramento territoriale e geomorfologico	73
3.4 Fabbisogno energetico del territorio	76
3.4.1 Settore Residenziale	77
3.4.2 Settore Terziario	77
3.4.3 Settore Industriale	77
3.4.4 Settore Agricoltura	78
3.4.5 Settore Trasporti	78
3.4.6 Previsioni dei consumi finali di energia al 2010.	78
3.4.7 Quadro emissivo della Regione Emilia-Romagna.	79
3.5 Possibili profili e scenari di produzione e impiego di energie rinnovabili nell'area studio	80
3.5.1 Impianti FV	80
3.5.2 Impianti Idroelettrici	83
3.5.3 Impianti a Biomassa	119
CAPITOLO 4	
Prospettive di produzione di energia eolica nell'area studio: valutazione tecnico-economica	
4.1 Il caso studio di un parco eolico tipo di possibile realizzazione sull'area studio.	124
4.1.1 Metodologie per la valutazione dell'applicabilità e per l'individuazione di siti ottimali	124
4.2 Ricerca di siti idonei nell'area studio	131
4.3 Analisi dei benefici in termini ambientali e confronto con scenari alternativi di produzione e impiego di energie da fonti non rinnovabili	137
CAPITOLO 5	

Prospettive di produzione di energia eolica nell'area studio: studio dell'impatto ambientale e paesaggistico	142
---	------------

5.1 Stato dell'arte della letteratura scientifica in tema di valutazione di impatto ambientale e paesaggistico, con particolare riferimento agli impianti per la produzione di energia eolica ed agli aspetti paesaggistici: analisi critica.	144
--	------------

5.2 Messa a punto di una metodologia idonea all'area studio e sua applicazione.	150
--	------------

5.3 Analisi dell'impatto potenziale su ciascuna delle risorse individuate:	154
---	------------

<i>5.3.1 Impatto Acustico</i>	<i>154</i>
-------------------------------	------------

<i>5.3.2 Interventi di mitigazione</i>	<i>157</i>
--	------------

<i>5.3.3 Impatto sulla fauna</i>	<i>157</i>
----------------------------------	------------

CAPITOLO 5

Conclusioni	166
--------------------	------------

Capitolo 1

Premessa ed obiettivi dello studio

1.1 Le energie rinnovabili

1.1.1 Inquadramento internazionale

La promozione della produzione di energia attraverso fonti rinnovabili viene perseguita a livello internazionale con l'obiettivo di ridurre il consumo di risorse e di contenere l'inquinamento, generato dalle fonti tradizionali. A tale scopo le organizzazioni internazionali hanno promulgato diversi documenti contenenti le indicazioni del percorso da seguire per raggiungere tali obiettivi.

A tale proposito, la Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, ratificata a New York nel 1992, prescrive la "...stabilizzazione delle concentrazioni in atmosfera di gas ad effetto serra ad un livello tale da prevenire pericolose interferenze delle attività umane sul sistema climatico". Fra questi gas, come noto, svolge un ruolo predominante la CO₂ proveniente dalla combustione delle fonti fossili: essa è infatti un gas climalterante e pertanto ne deve essere contenuto e possibilmente ridotto il quantitativo in atmosfera.

Si ricorda inoltre che il Protocollo di Kyoto, adottato il 10 dicembre 1997 a Kyoto alla terza Conferenza delle Parti alla Convenzione sui Cambiamenti Climatici, impegna gli Stati membri dell'Unione Europea a ridurre, entro il periodo 2008-2012, le emissioni dei gas serra nella misura dell'8% rispetto i livelli del 1990.

A tale protocollo è seguita la Comunicazione della Commissione Europea Com (98) 353 "Climate Change – Towards an EU post-Kyoto Strategy" che si concentra specificamente sulle tematiche relative all'energia, alla ricerca ed allo sviluppo di nuove tecnologie.

Successivamente, la Conferenza di Marrakesh (novembre 2001) ha ribadito gli intendimenti comunitari e internazionali.

L'Italia, nell'ambito degli accordi stabiliti con il protocollo di Kyoto nel 1997, si è impegnata, con la decisione del Consiglio dei Ministri dell'Ambiente della UE del 17/06/1998, a ridurre le emissioni dei gas serra nella misura del 6,5% rispetto ai valori misurati nel 1990, sulla base di un programma di riduzioni attuato a partire dal 2002 e annualmente verificato dalla UE.

1.1.2 Il quadro normativo nazionale

Le norme nazionali già da tempo avevano dedicato la loro attenzione a tali temi. Infatti, la legge nazionale n. 9 del 9/01/1991 "Norme per l'attuazione del nuovo Piano energetico Nazionale. Aspetti istituzionali, centrali idroelettriche ed elettrodotti, idrocarburi e geotermia, autoproduzione e disposizioni fiscali", all'art. 22 (Regime giuridico degli impianti di produzione di energia elettrica a mezzo di fonti rinnovabili ed assimilate), consente la realizzazione di impianti di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili da parte di privati e indica la possibilità di utilizzo dell'energia prodotta per soddisfare bisogni non solo propri, ma anche di soggetti membri di consorzi o società consortili cui partecipi il produttore stesso.

L'innovazione più rilevante, contenuta nel medesimo articolo, è quella che prevede l'obbligo da parte dell'ENEL di acquistare l'energia prodotta da tali fonti non altrimenti utilizzata da produttori terzi.

L'introduzione, con la Legge n. 448/98 "Misure di finanza pubblica per la stabilizzazione e lo sviluppo", della tassazione sull'anidride carbonica (carbon tax), prosegue il graduale processo di internalizzazione dei costi sociali della produzione energetica, già avviato con l'istituzione delle tasse sulle emissioni di ossidi di zolfo e di azoto.

La Delibera Cipe n. 137/98 “Linee guida per le politiche e misure nazionali di riduzione delle emissioni dei gas serra”, indica le azioni attraverso le quali è possibile ottenere la riduzione delle emissioni dei gas serra per valori equivalenti al 6,5% di CO₂ prodotta nel 1990, al 2008-2012.

L’organo attuativo della delibera è identificato nella Commissione per lo sviluppo sostenibile, supportata tecnicamente dal Gruppo di lavoro interministeriale coadiuvato dall’ENEA.

Il completamento, con il Decreto legislativo n. 36/99 “Riordino dell’Ente per le nuove tecnologie, l’energia e l’ambiente - ENEA, a norma degli articoli 11, comma 1, e 18, comma 1, della legge 15 marzo 1997, n. 59”, del processo di riordino dell’ENEA, attribuisce a tale Ente i compiti di operare nei campi della ricerca e dell’innovazione per lo sviluppo sostenibile e di svolgere funzioni di agenzia per le pubbliche amministrazioni mediante la prestazione di servizi avanzati nei settori dell’energia, dell’ambiente e dell’innovazione tecnologica. Il tutto in recepimento delle disposizioni comunitarie e internazionali.

Il Decreto Legislativo n. 79 del 16/03/1999 “Attuazione della direttiva 69/92 CE, recante norme comuni per il mercato interno dell’energia elettrica”, noto come “decreto Bersani”, liberalizza il sistema elettrico, prevedendo che l’ENEL ceda a terzi produttori 15000 MW entro il 01/01/2003, scadenza che è stata successivamente anticipata al 2001.

Il Decreto, di recepimento delle norme europee, prevede agli artt. 8 e 11, che:

- si assicuri la precedenza nel dispacciamento all’elettricità prodotta da impianti alimentati da fonti di energia rinnovabili;
- a decorrere dal 2001 chi importa energia elettrica o la produce da fonti non rinnovabili per oltre 100 GWh su base annua, ha l’obbligo di immettere nel sistema elettrico nazionale nell’anno successivo una quota prodotta da impianti per fonti rinnovabili;
- per il 2002 la quota suddetta sia del 2%, ma sia incrementata negli anni successivi in modo da rispettare le norme sul contenimento delle emissioni di gas inquinanti ed in particolare gli impegni previsti dal protocollo di Kyoto;
- sia data la priorità all’uso delle fonti di energia rinnovabili nelle piccole reti isolate;
- il rinnovo delle concessioni idroelettriche sia subordinato a programmi di aumento di energia prodotta;
- siano fissati termini temporali per la decorrenza delle incentivazioni previste dal provvedimento del Comitato Interministeriale Prezzi 6/92 “Prezzi dell’energia elettrica relativi a cessione, vettoriamiento e produzione per conto dell’Enel, parametri relativi allo scambio e condizioni tecniche generali per l’assimilabilità a fonte rinnovabile”.

Il “Libro Bianco per la valorizzazione energetica delle fonti rinnovabili (aprile 1999)”, predisposto sulla base del Libro Verde elaborato dall’ENEA nell’ambito del processo organizzativo della Conferenza nazionale Energia e Ambiente, individua, per ciascuna fonte rinnovabile, gli obiettivi che devono essere conseguiti per ottenere le riduzioni di emissioni di gas serra previste dalla delibera Cipe 6/92. Tale documento infatti quantifica la riduzione di emissioni inquinanti che devono essere conseguite attraverso l’estensione delle fonti rinnovabili, indicando altresì le strategie e gli strumenti necessari allo scopo. Il Libro Bianco è stato presentato dall’ENEA alla Conferenza, e l’approvazione, nello stesso novembre 1998, della delibera Cipe 137/98, ha fornito il riferimento definitivo per portare a compimento il documento.

Il Parlamento italiano ha approvato l’adesione al protocollo di Kyoto con la legge n. 120 del 01/06/02; in tal modo l’Italia assume l’obbligo di ridurre, entro il 2010/12, le emissioni inquinanti in atmosfera del 6,5% rispetto al valore del 1990. Per raggiungere tale obiettivo è stato approvato il 20/12/02 il “Piano di Azione Nazionale” che di fatto configura un quadro entro cui deve muoversi la pianificazione energetica e lo sviluppo dei diversi settori per ciò che ha riflesso sull’uso dell’energia.

Le norme nazionali di decentramento amministrativo (D. Lgs. 112/1998) assegnano competenze in materia di Energia alle Regioni, alle province ed ai comuni. Il Decreto legislativo n. 387 del 29 dicembre 2003, “Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità”, prevede una razionalizzazione e semplificazione delle procedure autorizzative stabilendo che gli impianti di produzione di energia elettrica alimentati da fonti rinnovabili siano soggetti ad un'autorizzazione unica, rilasciata dalla regione o altro soggetto istituzionale delegato dalla regione, entro 180 giorni dall'inizio del procedimento. Il decreto prevede la fattibilità degli interventi su aree agricole senza la necessità di varianti al PRG (Piano Regolatore Generale) o al PUC (Piani Urbanistici Comunali).

1.1.3 La produzione di energia rinnovabile in Italia: situazione all'attualità

I valori indicati nel Libro Bianco nazionale ponevano un'obiettivo di 76,11 TWh/anno al 2010 di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili con riferimento alla relativa produzione al 1997, pari a circa 47 TWh/anno, corrispondenti al 16% del consumo interno lordo annuo di elettricità (290 TWh) .

In base alla direttiva europea 2001/77/CE, sulla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità, per l'Italia si prevede, al 2010, un obiettivo indicativo del consumo lordo di elettricità da fonti rinnovabili pari al 25% sul totale.

Considerando che in Italia il rateo annuo di incremento del consumo interno lordo di elettricità è intorno al 2,0-3,0%, anche nel caso in cui si attivino importanti misure di efficienza energetica, è plausibile che al 2010 si arrivi ad un fabbisogno interno prossimo ai 365-400 TWh annui.

Sulla base delle quote sopraccitate, la frazione di energia elettrica da fonti rinnovabili dovrebbe essere intorno ai 91-100 TWh, pari circa al 130% degli obiettivi fissati dal Libro Bianco nazionale.

La direttiva 2001/77/CE precisa inoltre che nel computo delle energie rinnovabili non si deve considerare l'apporto della parte non biodegradabile dei rifiuti urbani e industriali utilizzati in conformità della normativa comunitaria sulla gestione dei rifiuti, quantificati nel Libro Bianco pari a 4,0 TWh annui al 2010.

Al raggiungimento della quota del 25% di elettricità rinnovabile concorrerà anche l'importazione di energia elettrica rinnovabile con certificazione riconosciuta (stimabile in un contributo annuo costante pari a circa 12 TWh/anno); tuttavia è necessario considerare che il contributo dell'idroelettrico e del fotovoltaico sarà limitato rispetto agli obiettivi già prefissati dal Libro Bianco (Unione Europea. 2000). Infatti si prevede, da un lato, una diminuzione d'acqua turbinabile dovuta a cambiamenti climatici che hanno determinato scarse precipitazioni, dall'altro limitazioni alle importazioni di pannelli da paesi come la Germania e il Giappone. Per questo è plausibile pensare che solo mediante un maggiore ricorso alle tecnologie rinnovabili più consolidate, quali le biomasse e l'eolico, che offrono maggiori garanzie di producibilità, sia possibile conseguire l'obiettivo nazionale prefissato per l'Italia dalla direttiva europea.

L'Attuazione della Direttiva 2001/77/CE in Italia è avvenuta con l'emanazione del Decreto Legislativo n.387/03 (pubblicato su G.U. n. 25 del 31/01/04) individuando “Le principali misure nazionali per promuovere l'aumento del consumo di elettricità da fonti rinnovabili...(art. 3, c. 1).” ed effettuando, attraverso la Conferenza unificata, “..la ripartizione tra le regioni in considerazione delle risorse di fonti energetiche rinnovabili sfruttabili in ciascun contesto territoriale (art. 10,c. 1).” Inoltre, ai sensi dell'art. 10, c. 3 “Le regioni possono adottare misure per promuovere l'aumento del consumo di elettricità da fonti rinnovabili nei rispetti territoriali, aggiuntive rispetto a quelle nazionali”.

La legislazione italiana, attraverso il suddetto D. Lgs. n. 387/03, al fine di snellire l'iter autorizzativo alla “..costruzione ed esercizio degli impianti di produzione di energia elettrica alimentati a fonti

rinnovabili, gli interventi di modifica, potenziamento, rifacimento totale o parziale e riattivazione...”, ammette che il rilascio dell’autorizzazione avvenga in seguito ad un procedimento unico, al quale partecipano tutte le amministrazioni interessate.

Inoltre al fine del raggiungimento degli obiettivi prefissati dalla Direttiva 2001/77/CE, è stata incrementata la quota minima di cui all’art. 11 D. Lgs. n. 79/99, che introduce l’obbligo per i produttori ed importatori, a partire dal 2002, di immettere in rete ogni anno una quota di energia elettrica prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili (entrati in esercizio o ripotenziati al 1 aprile 1999), pari a 2% dell’energia elettrica prodotta o importata da fonti non rinnovabili nell’anno precedente eccedente i 100 GWh. Tale decreto pone altresì in evidenza che la quota di obbligo iniziale del 2% possa essere aumentata, cosa avvenuta con l’emanazione del D. Lgs. 387/03, in cui all’art.4, c.1 si precisa che “a decorrere dall’anno 2004 e fino al 2006, la quota minima di elettricità prodotta da impianti alimentati a fonti rinnovabili che, nell’anno successivo, deve essere immessa nel sistema elettrico nazionale ai sensi dell’art.11 D. Lgs. 97/99, è incrementata annualmente di 0.35 punti percentuali”. Sono state inoltre introdotte sanzioni per gli inadempienti all’obbligo di cui all’art. 11 menzionato.

Tab.1.1 Energia elettrica da fonti rinnovabili. Anni 1995-2003 (GWh) – Elaborazione ENEA su dati GRTN

	1995	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Idroelettrico	37.781	41.213	45.358	44.205	46.810	39.519	36.674
Idroelettrico < 10MW	7.440	8.320	8.601	8.117	8.657	8.048	7.191
Idroelettrico > 10 MW	30.341	31.893	36.756	36.088	38.154	31.472	29.483
Eolico	10	231	403	563	1.179	1.404	1.458
Solare fotovoltaico	13	14	15	16	16	18	23
Geotermoelettrico	3.436	4.214	4.403	4.705	4.507	4.662	5.341
Rifiuti solidi urbani	168	464	653	804	1.259	1.428	1.811
Legna	116	171	587	537	644	1.051	1.648
Biogas	103	494	583	566	684	943	1.033
A - totale	41.627	46.901	52.002	51.396	55.100	49.027	47.989
B – Consumo interno lordo (TWh)	279	301	308	321	327	336	345
A/B (%)	15	16	17	16	17	15	14

La produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili ammontava nel 2003 a circa 48 TWh, pari al 14% del consumo interno lordo (dato dalla produzione lorda di energia elettrica più il saldo degli scambi con l’estero) di energia elettrica e a più del 16% della produzione lorda interna (293,9 TWh). Rispetto all’anno precedente, si è assistito ad una contrazione della produzione di elettricità da fonti energetiche rinnovabili imputabile esclusivamente al ridotto contributo della fonte idroelettrica. Tutte le altre fonti energetiche hanno fatto registrare tassi di incremento annui positivi.

La tabella 1.1 illustra i quantitativi annuali di produzione di energia da fonte rinnovabile nel periodo 1995-2003, sia in valore assoluto che rapportati con il rispettivo consumo interno lordo.

1.1.4 La produzione ed il consumo di energia elettrica in Emilia Romagna

Dai dati statistici pubblicati dal Gestore della Rete di Trasmissione Nazionale si evince che la produzione di energia elettrica nella Regione Emilia Romagna è prevalentemente di tipo termoelettrico. Il consumo di energia elettrica della stessa Regione (dati 2003) può essere quantificato in 27.250 GWh/anno, con un deficit, rispetto alla produzione interna, di 3710 GWh/anno.

La produzione netta di energia elettrica da fonti rinnovabili (1.254 GWh nel 2003) è quindi modesta in rapporto a quella totale ed è prevalentemente dovuta alla fonte idraulica. Il contributo della fonte eolica è molto ridotto e pari a 3,5 GWh nel 2003.

La percentuale di produzione netta da fonti rinnovabili è pertanto pari a circa il 5,3% sul totale della produzione netta pari a 23.540 GWh nel 2003.

Si riportano, di seguito in tabella 1.2, alcuni dati statistici estratti dalla relazione di bilancio energetico dell'anno 2003 della Regione Emilia Romagna redatto dal GRTN. Per ciò che concerne il fabbisogno energetico della Regione Emilia-Romagna si rimanda alla Fig. 1.1. in cui viene rappresentato il bilancio tra produzione e richiesta di energia elettrica, ed in tab. 1.3 i consumi suddivisi per settori.

Di particolare interesse risulta la tab. 1.4 dalla quale emergono le esigue produzioni di energia da fonte rinnovabile presenti in Regione.

Tab. 1.2. Generazione di energia in Emilia Romagna.

Situazione impianti

al 31.12.2003

		Produttori	Autoproduttori	Regione
Impianti idroelettrici				
Impianti	n.	59	3	62
Potenza efficiente lorda	MW	614,7	2,0	616,7
Potenza efficiente netta	MW	605,3	2,0	607,3
Producibilità media annua	GWh	1.392,1	8,3	1.400,4
Impianti termoelettrici				
Impianti	n.	72	64	136
Sezioni	n.	109	99	208
Potenza efficiente lorda	MW	4.251,8	378,7	4.630,5
Potenza efficiente netta	MW	4.152,2	364,7	4.517,0
Impianti eolici e fotovoltaici				
Impianti	n.	2	-	2
Potenza efficiente lorda	MW	3,5	-	3,5

Energia richiesta

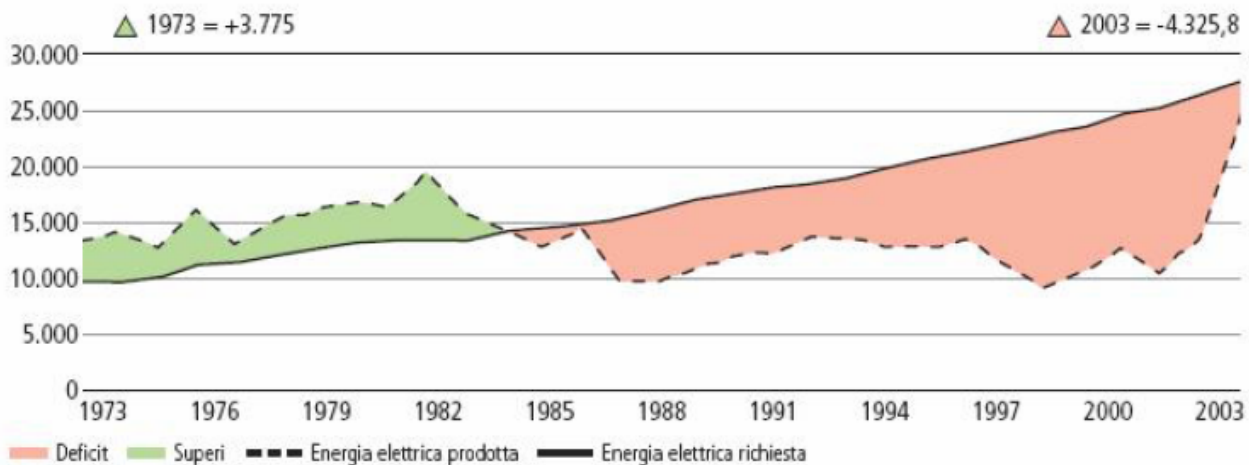
Energia richiesta in Emilia Romagna

GWh 27.250,2

△ Deficit (-) Superi (+) della produzione rispetto alla richiesta

GWh -4.325,8

% 15,9



Consumi: complessivi 25.820,5 GWh; per abitante 6.370 kWh

Fig. 1.1. Bilancio tra produzione e richiesta di energia elettrica.

Tab 1.3. Statistiche sui consumi di differenti settori per provincia.

Consumi per categoria di utilizzatori e provincia

GWh				
	Agricoltura	Industria	Terziario ¹	Domestici
Bologna	102,0	2.157,6	1.600,7	1.175,2
Ferrara	101,9	1.341,6	480,9	435,7
Forlì	205,4	535,7	534,2	397,2
Modena	83,9	2.840,0	893,5	793,7
Parma	72,8	1.674,1	611,1	526,2
Piacenza	70,1	678,3	372,0	321,3
Ravenna	140,6	1.640,4	577,9	434,6
Reggio Emilia	108,0	1.927,0	535,9	566,0
Rimini	17,4	388,9	615,8	361,9
Totale	902,2	13.183,6	6.222,0	5.011,8

Tab. 1.4. Dati sintetici sulla produzione di energia elettrica in Emilia Romagna.

Bilancio dell'energia elettrica			
GWh			2003
	Operatori del mercato elettrico*	Autoproduttori	Regione
Produzione lorda			
- idroelettrica	1.248,0	3,2	1.251,2
- termoelettrica	21.725,8	1.319,9	23.045,7
- geotermoelettrica	-	-	-
- eolica e fotovoltaica	3,2	-	3,2
Totale produzione lorda	22.977,0	1.323,0	24.300,0
	-	-	-
Servizi ausiliari della Produzione	691,6	67,6	759,2
	=	=	=
Produzione netta			
- idroelettrica	1.224,9	3,2	1.228,1
- termoelettrica	21.057,3	1.252,2	22.309,5
- geotermoelettrica	-	-	-
- eolica e fotovoltaica	3,2	-	3,2
Totale produzione netta	22.285,4	1.255,4	23.540,8

1.1.5 La produzione di energia eolica

L'energia eolica risulta essere attualmente la fonte energetica caratterizzata dal maggior tasso di crescita a livello mondiale, visualizzabile dagli andamenti del diagramma di figura 1.2. Al 2006 sono circa 55.000 gli aerogeneratori installati nel mondo; l'industria eolica impiega circa 70.000 persone, ha un bilancio di oltre 5 miliardi di dollari e cresce con un tasso annuo di circa il 40%.

Oltre 35 milioni di persone vedono i propri fabbisogni di energia elettrica soddisfatti da questa fonte.

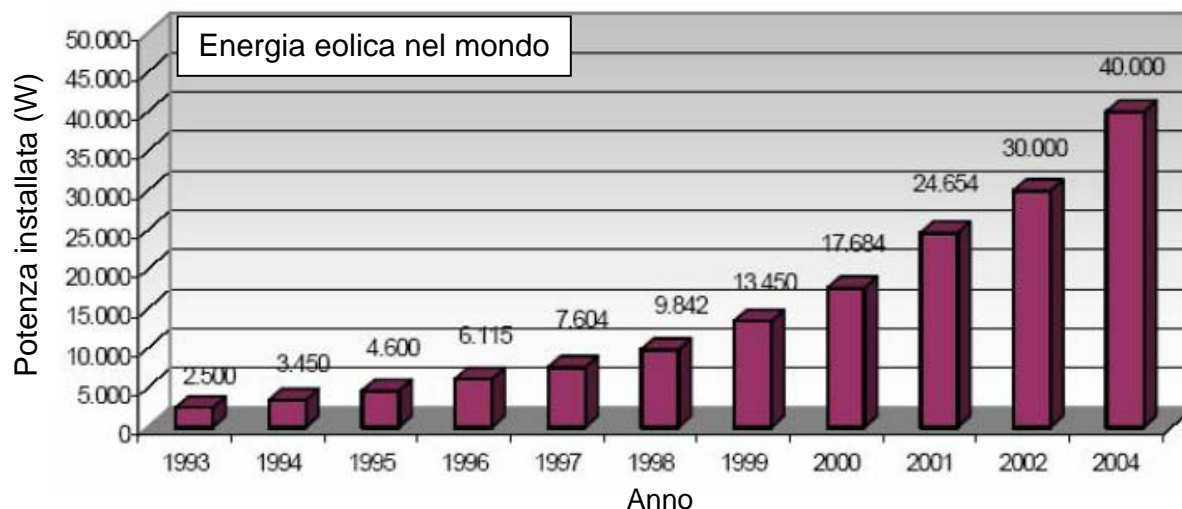


Fig. 1.2. Sviluppo dell'energia eolica nel mondo (watt installati per anno)

In Europa la potenza installata è passata da poco più di 6.000 MW nel 1996 agli oltre 35.000 MW attuali, coprendo circa il 74% dell'installato nel mondo, contro il 15% degli Stati Uniti e l'11% del resto del mondo.

La Germania è il paese leader in ambito mondiale, seguita da Stati Uniti e Spagna. Anche in Italia si è assistito ad un notevole incremento della potenza installata, passata da circa 200 MW nel 1998 agli oltre 1500 MW attuali installati. La crescita di tale fonte energetica, di cui in tabella 1.5 sono riportati i dati relativi al periodo 1998-2003 per i principali paesi produttori, è stata supportata dalla crescente maturità tecnologica ed economica degli aerogeneratori presenti sul mercato. Attualmente sono disponibili in commercio turbine eoliche con taglia variabile dai 600 kW fino ad oltre 3 MW, il che rende possibile adeguare i progetti di impianto a diversi fattori specifici, quali ad esempio l'accessibilità al sito, le caratteristiche climatiche e paesaggistiche del territorio interessato e la ventosità del sito, grazie alla possibilità di scegliere modelli di macchine con velocità di innesco adeguate.

Tab. 1.5 Confronto sulla potenza eolica installata nel 1998 e nel 2003 in alcuni paesi europei.

Paese	Installato 1998 (MW)	Installato 2003 (MW)
Germania	2.878	14.609
Sati Uniti	2.141	6.370
Spagna	880	6.202
Danimarca	1.420	3.110
India	992	1.870
Italia	197	904
Olanda	379	873
Gran Bretagna	338	649

In Italia gli impianti eolici hanno avuto storicamente un maggiore sviluppo nelle aree appenniniche meridionali (soprattutto Puglia e Campania), dove ancora oggi se ne riscontra la più alta concentrazione. Negli ultimi anni, però, si è iniziato a valutare la possibilità di sviluppare centrali eoliche anche in altre aree, in modo da differenziarne l'ubicazione: anche l'Appennino settentrionale è stato oggetto di valutazioni sul potenziale eolico e diverse zone hanno dimostrato caratteristiche interessanti (si veda al proposito fig. 1.3).



Fig. 1.3. Potenza eolica installata in MW per regione alla fine del 2003.

In Emilia-Romagna lo sviluppo di impianti eolici ha registrato un sensibile incremento negli ultimi anni, ossia da quando sul mercato si sono rese disponibili macchine di media taglia (850-600 kW) che consentono una produttività con venti a patire da circa 4 m/sec ed un più facile trasporto grazie alle ridotte dimensioni. Questo processo di sviluppo ha però incontrato numerose difficoltà, soprattutto nelle fasi autorizzative, poiché le amministrazioni locali nei primi tempi non erano preparate ad analizzare impianti di questo tipo. Inoltre la popolazione ha manifestato preoccupazioni riguardo alla salvaguardia della fauna, della flora ma soprattutto del paesaggio, alimentando pareri contrari nei principali movimenti politici e culturali. Per queste ragioni tale sviluppo è stato ritardato e lo è tuttora rispetto ad altre realtà italiane.

1.3 Obiettivi dello studio

Lo studio si propone l'obiettivo di approfondire il tema delle potenzialità che il territorio agroforestale montano presenta in termini di produzione di energia da fonte rinnovabile, con particolare riferimento al caso dell'Appennino toso-emiliano.

Un obiettivo specifico è rappresentato dall'elaborazione di metodologie ad hoc per la valutazione della localizzazione ottimale di impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili.

In particolare lo studio si propone di indagare le principali forme di tale produzione con specifico riferimento alle possibilità applicative nell'ambito di un'area studio. Questa è rappresentata da una Comunità Montana (Comunità Montana Acquacheta, in provincia di Forlì-Cesena), con riferimento alla quale vengono presi in considerazione anche i ruoli che gli enti locali possono rivestire in termini di promozione ed attuazione di forme di generazione di energia pulita.

Le modalità di produzione sulle quali si intende concentrare prevalentemente l'attenzione, alla luce dell'analisi dello stato dell'arte in materia, sono rappresentate dagli impianti fotovoltaici, dagli impianti idroelettrici, dai termovaluatori a biomassa e dai parchi eolici. Di ciascuno di questi sistemi viene elaborato uno studio di fattibilità nell'area studio, con approfondimenti mirati riguardo alla loro sostenibilità economica ed ambientale.

Particolare attenzione viene rivolta allo studio della localizzazione ottimale di un parco eolico, attraverso lo sviluppo di una metodologia ad hoc che si avvale di alcuni risultati salienti reperiti in letteratura e di elaborazioni originali. La ricerca si propone altresì di testare tale metodologia attraverso la sua applicazione al caso di un parco eolico progettato nell'area montana di riferimento. La verifica dei risultati ottenuti viene svolta conducendo uno studio di impatto ambientale secondo gli attuali criteri consolidati.

Obiettivo complementare della ricerca è infine l'analisi delle possibilità di utilizzare, in un ambito territoriale montano, la risorsa eolica non solo come strumento di produzione di energia ma anche come incentivo per un coinvolgimento delle altre risorse disponibili (naturali e umane) per lo sviluppo di una economia locale che permetta un'inversione di tendenza rispetto all'abbandono delle realtà rurali, senza per questo compromettere il valore delle risorse paesaggistiche e naturale di questi luoghi.

Infatti negli ultimi decenni i territori montani italiani sono stati caratterizzati da uno spopolamento costante ed inesorabile dovuto alla competizione con le aree metropolitane. Tale problematica appare particolarmente evidente in una regione, come l'Emilia-Romagna, caratterizzata da una crescita economica complessiva elevata e persistente, rispetto alla quale i trend di spopolamento ed invecchiamento della popolazione di alcune aree marginali risultano notevolmente marcati e potenzialmente irreversibili. In tale contesto emerge la necessità di attuare politiche di sviluppo locale in grado di valorizzare le risorse territoriali e, congiuntamente, innescare processi di sviluppo economico capaci di attrarre, o per lo meno trattenere, la popolazione attiva e, in particolare, i giovani dotati di una preparazione scolastica ed universitaria professionalizzante.

Molto importanti sono quindi la valorizzazione e lo sviluppo delle potenzialità e l'individuazione delle vocazioni dell'area montana per far sì che le caratteristiche di questi territori, che oggi vengono considerate degli svantaggi, si trasformino nel loro punto di forza.

Lo studio, in questo senso, vuole mettere in evidenza ed approfondire con valutazioni specifiche il ruolo che la pianificazione a livello locale delle aree idonee allo sfruttamento di fonti energetiche rinnovabili può rivestire affinché si attivino settori di sviluppo per territori altrimenti soggetti all'abbandono da parte della popolazione.

Capitolo 2

Le principali tecniche di produzione di energie rinnovabili

2.1 Gli impianti idroelettrici

L'energia idroelettrica è tra le rinnovabili quella che probabilmente ha maggior impatto sugli ecosistemi ma che, d'altro canto, fornisce i migliori rendimenti e permette (al pari dell'eolico) di installare elevate potenze; a livello mondiale è, tra le fonti rinnovabili, quella che maggiormente contribuisce alla produzione di energia elettrica.

Dai dati relativi alla produzione energetica in Italia da fonte idroelettrica si può rilevare nel periodo 1963-2000 il passaggio da circa 42.000 GWh a 51.000 GWh, quindi un aumento sensibile della produzione (21%); contemporaneamente la quota di energia idroelettrica rispetto al totale è andata rapidamente calando, a causa dell'aumento della domanda energetica a cui si è fatto fronte principalmente con fonte termoelettrica. La quota dell'idroelettrico è infatti passata dal 65% del totale dell'energia prodotta in Italia nel 1963 al 19% del 2000.

Secondo le analisi condotte da Tondi et al. (1999) esistono quote significative di possibile crescita per gli impianti idraulici in Italia, e tali stime trovano conferma anche nelle valutazioni dell'ENEA (1998) secondo cui sarebbe possibile realizzare in Italia, entro il 2010, impianti idraulici con potenza inferiore a 10 MW per 850 MW complessivi, insieme a 450 MW di impianti di taglia superiore a 10 MW.

Nel mondo l'energia idroelettrica ha, come le altre fonti rinnovabili, livelli e modalità di produzione diversi nei paesi industrializzati rispetto a quelli in via di sviluppo. In quelli industrializzati sono oramai presenti i grandi impianti e l'ambito di sviluppo è quello del mini-idroelettrico. Invece in molti paesi in via di sviluppo la fonte idroelettrica non è ancora molto utilizzata, rappresentando comunque una discreta fonte potenziale di energia. Si stima una potenza installata di 47.000 MW nel mondo dei quali 9500 MW rappresentano la potenza installata in Europa.

L'energia idraulica rappresenta approssimativamente un quarto dell'energia totale prodotta nel mondo e negli ultimi anni sta considerevolmente aumentando d'importanza: in molti paesi, quali ad esempio Norvegia, Repubblica democratica del Congo e Brasile, rappresenta la fonte principale di energia elettrica. A titolo di esempio si cita l'impianto Itaipu sul Rio Paran  tra Brasile e Paraguay, ufficialmente inaugurato nel 1982, che ha la pi  grande capacit  del mondo (12.600 megawatt a pieno regime).

2.1.1 Definizioni e classificazioni degli impianti.

Per energia idroelettrica si intende quel tipo di energia che sfrutta il movimento di masse di acqua per produrre energia cinetica e quindi, grazie a una turbina accoppiata ad un alternatore l'energia elettrica. Gli impianti idraulici, quindi, sfruttano l'energia potenziale meccanica contenuta in una massa d'acqua che si trova disponibile ad una certa quota rispetto al livello cui sono posizionate le turbine.

Pertanto la potenza di un impianto idraulico dipende da due termini: il salto (dislivello esistente fra la quota a cui   disponibile la risorsa idrica svasata e il livello a cui la stessa viene restituita dopo il passaggio attraverso la turbina) e la portata (la massa d'acqua che fluisce attraverso l'impianto nell'unit  di tempo).

In base alla taglia di potenza nominale P della centrale, gli impianti idraulici si suddividono in:

- I. Micro-impianti: $P < 100 \text{ kW}$;
- II. Mini-impianti: $100 < P(\text{kW}) < 1000$;

III. Piccoli-impianti: $1000 < P(\text{kW}) < 10000$;

IV. Grandi-impianti: $P > 10000 \text{ kW}$.

Questa suddivisione solitamente si riscontra anche nella diversa tipologia degli impianti: mentre i grandi impianti idroelettrici richiedono solitamente la creazione di un invaso che comporta la sommersione di estese superfici, con notevole impatto ambientale e sociale, un piccolo impianto idroelettrico si integra quasi perfettamente nell'ecosistema locale sfruttando direttamente la corrente del corso d'acqua.

Gli impianti possono essere poi:

- A. Ad acqua fluente;
- B. A bacino di accumulazione;
- C. Di accumulo a mezzo pompaggio.

Le turbine delle *centrali ad acqua fluente* sono azionate dall'acqua di un fiume. Il dislivello tra l'alto e il basso corso del fiume è minimo, se paragonato a quello delle centrali ad accumulazione. Per conto, la quantità d'acqua disponibile è maggiore. Le centrali ad acqua fluente funzionano ininterrottamente, coprendo la domanda di base; la loro produzione di elettricità dipende dalla portata stagionale del fiume.

Per azionare le turbine le *centrali ad accumulazione* sfruttano l'acqua accumulata nei laghi artificiali. Sono caratterizzate da grandi dislivelli e quindi ad alte pressioni, ma da limitate portate d'acqua. A seconda del bisogno, le centrali ad accumulazione possono essere messe in esercizio e arrestate nel giro di pochi minuti. Per questo motivo, sono utilizzate soprattutto per coprire il carico durante periodi di punta, per esempio a mezzogiorno.

Le *centrali di pompaggio* dispongono di un bacino di accumulazione superiore, detto di svaso, e uno inferiore, di invaso. Nei periodi di basso consumo, l'acqua è pompata nel bacino superiore: può così essere riutilizzata per la produzione di elettricità quando aumenta la domanda. Per azionare le pompe si utilizza il 2% circa della produzione totale di elettricità. Solitamente l'acqua viene pompata a monte durante la notte, in quanto le tariffe energetiche sono più economiche. Dal punto di vista energetico tali impianti rappresentano un non senso: infatti la quantità di energia necessaria a riempire il bacino di svaso è certamente superiore (a causa di tutte le dissipazioni ed i consumi ausiliari) dell'energia fornita dalla stessa quantità di acqua durante la caduta. La validità di tali impianti è prettamente economica, basandosi sul fatto che le tariffe commerciali notturne dell'energia sono inferiori a quelle diurne. Questo poiché all'ente gestore del servizio di distribuzione elettrico interessa relativamente il costo di produzione dell'energia elettrica (il costo di produzione dell'energia necessaria al pompaggio è superiore a quello dell'energia prodotta) ma piuttosto il valore commerciale, vale a dire il prezzo di vendita. Sulla base di tale criterio risulta pertanto conveniente la realizzazione di tali impianti. Nel caso di basse cadute si possono utilizzare turbine reversibili, che nelle ore diurne lavorano come macchine motrici (tipo Francis o elicoidale) e nelle ore notturne come macchine operatrici (pompa centrifuga-mista).

Il salto H è la differenza di quota tra il punto di prelievo dell'acqua ed il punto di restituzione.

Gli impianti idroelettrici si suddividono in base al valore di questa grandezza in impianti idraulici:

1. a bassa caduta ($H < 50\text{m}$);
2. a media caduta ($50 < H(\text{m}) < 250$);
3. ad alta caduta ($250 < H(\text{m}) < 1000$);
4. ad altissima caduta ($H > 1000\text{m}$).

La portata Q derivata, o prelevata, da un impianto idroelettrico è il volume di acqua prelevato nell'unità di tempo (m^3/s). In funzione della portata si parla di:

1. piccola portata ($Q > 10 \text{ m}^3/\text{s}$);
2. media portata ($10 < Q \text{ (m}^3/\text{s)} < 100$);
3. grande portata ($100 < Q \text{ (m}^3/\text{s)} < 1000$);
4. altissima portata ($Q > 1000 \text{ (m}^3/\text{s)}$).

2.1.2 Potenza e rendimento di un impianto.

La potenza effettivamente ottenibile da un impianto idraulico si esprime mediante la formula:

$$P_e = \eta \cdot Q \cdot H \cdot g \cdot \rho$$

Ove P_e è la potenza effettiva, η rappresenta il rendimento globale dell'impianto, Q la portata e H il salto geodetico, g è l'accelerazione di gravità e ρ è la densità dell'acqua.

Il rapporto tra la potenza immessa in rete (cioè dopo che sono avvenute tutte le perdite dovute a: rendimento della turbina, del generatore, del trasformatore e dell'eventuale moltiplicatore di giri) e la potenza teorica di un impianto idroelettrico è denominato *rendimento globale* dell'impianto. Nei moderni impianti idroelettrici esso va dall'80% al 90%, rappresentando un valore molto elevato (in particolare è il valore più elevato tra le fonti rinnovabili).

2.1.3 Progetto di un impianto.

Il progetto di un impianto è il risultato di un complesso processo iterativo in cui diverse soluzioni tecniche sono confrontate da un punto di vista economico, nel rispetto della compatibilità ambientale dell'opera. Gli studi funzionali alla selezione del sito riguardano la sua topografia e geomorfologia e la valutazione della risorsa idrica e del suo potenziale energetico. A tali studi seguono la fase progettuale relativa all'impianto, lo studio di impatto ambientale e la, valutazione economica del progetto.

Un impianto idroelettrico è costituito da un insieme organico di macchine e apparecchiature e di opere di ingegneria, destinato a trasformare l'energia idraulica di un corso d'acqua naturale o artificiale in energia elettrica. In esso si possono distinguere:

- le opere di presa, di filtraggio e di convogliamento dell'acqua;
- il locale con il macchinario;
- l'opera di scarico dell'acqua;
- la linea elettrica per il trasporto e la distribuzione dell'energia.

Le opere suddette e il tipo di macchine di norma dipendono da fattori fisici inerenti alle condizioni di lavoro dell'impianto (quali l'orografia del sito, il salto, la portata, la disponibilità di un bacino di accumulo idrico) e dal tipo di esercizio dell'impianto stesso (funzionamento autonomo oppure in parallelo con una rete elettrica esistente, funzionamento completamente automatico oppure con controllo periodico da parte di un addetto, funzionamento continuativo oppure stagionale).

Le opere di presa d'acqua dipendono dalla tipologia del corso d'acqua intercettato e dall'orografia locale, mentre il tipo di filtro necessario e l'opportunità di automatizzare la pulizia dipendono dalla portata derivata e dall'entità dei corpi solidi trasportati dal flusso idrico; le microcentrali usano normalmente acqua fluente, mentre per le minicentrali è più comune la presenza a monte di modesti bacini di accumulo.

Le opere di convogliamento dell'acqua alla turbina sono costituite essenzialmente da canali o da condotte forzate e anch'esse dipendono dalla orografia del sito, dalla portata del corso d'acqua e dalle caratteristiche della turbina prevista. La convenienza generale del progetto aumenta poi qualora l'acqua convogliata serva ad altri usi oltre a quello energetico (acqua per impianti irrigui, industriali, di depurazione e per acquedotti pubblici o privati).

A seconda dei regimi di rotazione nominali delle turbine e del generatore può poi essere necessario prevedere un moltiplicatore di giri, tuttavia, quando la turbina ed il generatore girano alla stessa velocità e possono essere installati assialmente, è consigliato l'accoppiamento diretto, che evita le perdite meccaniche e minimizza le manutenzioni. In generale, soprattutto con turbine di piccola potenza, le ruote girano a meno di 400 rpm e ciò comporta la necessità di ricorrere ad un moltiplicatore per raggiungere i valori di 700-1500 rpm, caratteristici per gli alternatori standard. Questa soluzione è infatti più economica, nell'ambito dei piccoli impianti, rispetto a quella di adottare un generatore speciale accoppiato alla turbina.

Come noto, il generatore ha la funzione di trasformare in energia elettrica l'energia meccanica (di rotazione) trasmessa alla turbina. In passato si usavano generatori a corrente continua (dinamo), attualmente si usano generatori a corrente alternata trifase. In funzione della rete che si deve alimentare in fase di progettazione si può scegliere tra alternatori sincroni e asincroni.

I primigenerano energia alla stessa tensione, frequenza ed angolo di fase della rete grazie ad un apparato di eccitazione associato ad un regolatore di tensione. Possono funzionare anche staccati dalla rete (in isola) e sono più costosi rispetto a quelli asincroni. Si utilizzano per alimentare piccole reti, nelle quali la potenza del generatore rappresenta una porzione sostanziale del carico del sistema o in tutti i casi in cui la potenza della turbina sia elevata.

I secondi sono semplici motori ad induzione, senza possibilità di regolazione della tensione. Girano ad una velocità direttamente rapportata alla frequenza della rete cui sono collegati. Dalla rete assorbono la corrente di eccitazione e l'energia reattiva necessaria alla propria magnetizzazione; pertanto non possono generare corrente se scollegati dalla rete perché non sono in grado di provvedere alla propria corrente di eccitazione. Si usano in grandi reti, nelle quali la loro potenza rappresenta una percentuale trascurabile del carico di sistema, ed hanno un rendimento inferiore rispetto ai generatori sincroni.

Il trasformatore è poi l'elemento che si interpone tra la centrale e la rete elettrica; ha la funzione di variare la tensione della corrente in uscita dall'alternatore, in particolare di portare la corrente dalla tensione di uscita del generatore a quella della linea elettrica ad alta o media tensione.

Il gruppo turbina - generatore e le apparecchiature connesse vengono infine alloggiati in un locale opportunamente dimensionato e provvisto delle adeguate protezioni.

2.1.4 Caratteristiche delle turbine idrauliche: .

La turbina idraulica è essenzialmente costituita da un organo fisso, il distributore e da uno mobile, la girante. Il primo ha tre compiti fondamentali: indirizza la portata in arrivo alla girante imprimendovi la direzione dovuta, regola la portata mediante organi di parzializzazione, provoca una trasformazione parziale o totale in energia cinetica dell'energia di pressione posseduta dall'acqua. L'entità di questa trasformazione è l'elemento più importante per la classificazione delle turbine: quando la trasformazione da energia potenziale a cinetica avviene completamente nel distributore, si parla di turbine ad azione, altrimenti di turbine a reazione. La girante infine trasforma l'energia potenziale e cinetica dell'acqua in energia meccanica resa sull'albero motore.

Il tipo, la geometria e le dimensioni di una turbina sono condizionati essenzialmente dai seguenti parametri: salto netto, portata da turbinare, velocità di rotazione, problemi di cavitazione, velocità di fuga e costo. La manualistica corrente prevede l'impiego di grafici che permettono di determinare quale sia il tipo di turbina ottimale per un determinato corso d'acqua, in funzione del salto e della portata.

Le turbine Pelton, ad azione, sono dotate di uno o più ugelli (una turbina ad asse verticale può avere fino a sei ugelli, con una o due giranti) i quali trasformano totalmente la pressione dell'acqua in energia cinetica. Ogni ugello (chiamato anche boccaglio) crea un getto, la cui portata è regolata da una valvola a spillo. L'acqua abbandona le pale a velocità molto bassa (idealmente a velocità nulla) per cui la cassa, che contiene la ruota, non deve resistere a nessuna pressione e può quindi essere molto leggera. Sono usate per salti compresi nell'intervallo 50-1300m.

Diversamente la turbina Turgo è una turbina ad azione che può lavorare con salti tra i 15 ed i 300m. Rispetto alla Pelton ha pale con forma e disposizione diverse ed il getto colpisce simultaneamente più pale, similmente alle turbine a vapore. Il volume d'acqua che una turbina Pelton può elaborare è limitato dal fatto che il flusso di ogni ugello possa interferire con quelli adiacenti, mentre la turbina Turgo non soffre di questo inconveniente.

Un altro tipo di turbina è la *cross-flow* (turbina a flusso incrociato), essa viene anche chiamata turbina Banki-Michell, in onore dei suoi inventori, oppure turbina Ossberger, il nome della ditta che la fabbrica da più di 50 anni. Questa turbina ad azione si utilizza con una gamma molto ampia di portate e salti tra 5 m e 200 m. Il suo rendimento massimo è inferiore all'87%, però si mantiene quasi costante quando la portata discende fino al 16% di quella nominale e può raggiungere una portata minima teorica inferiore al 10% della portata di progetto. L'acqua entra nella turbina attraverso un distributore e passa nel primo stadio della ruota, che funziona quasi completamente sommersa (con un piccolo grado di reazione). Il flusso che abbandona il primo stadio cambia di direzione al centro della ruota e raggiunge il secondo stadio, totalmente ad azione. La ruota è costituita da due o più dischi paralleli, tra i quali si montano, vicino ai bordi, le pale, costituite da semplici lamiere piegate. Queste ruote si prestano alla costruzione artigianale nei paesi in via di sviluppo, anche se, non raggiungono i rendimenti dei gruppi realizzati con tecnologie più elaborate.

Le turbine Francis sono a reazione a flusso radiale con distributore a pale regolabili e girante a pale fisse e vengono molto utilizzate per i medi salti, compresi nell'intervallo 10-350m.

Nelle turbine Francis veloci, l'alimentazione è sempre radiale, mentre lo scarico dell'acqua è solitamente assiale; in queste turbine l'acqua si muove come in una condotta in pressione: attraverso il distributore (organo fisso) perviene alla ruota (organo mobile) alla quale cede la sua energia, senza entrare in nessun momento in contatto con l'atmosfera. In essa l'acqua subisce una deviazione complessiva di 90°, come in una pompa centrifuga, solo che in questo caso il flusso è centripeto anziché centrifugo.

Le turbine Kaplan sono a reazione a flusso assiale, non presentano componente radiale di velocità e vengono utilizzate generalmente per bassi salti (2-20m). La potenza massima che sono in grado di esprimere è di circa 200.000 kW. Le pale della ruota sono sempre regolabili, mentre quelle del distributore possono essere fisse o regolabili. Quando sia le pale della turbina sia quelle del distributore sono regolabili, la turbina è chiamata semplicemente Kaplan (o a doppia regolazione); se sono regolabili solo le pale della ruota, la turbina è chiamata semi-Kaplan (o a singola regolazione). Le pale della ruota si muovono girando intorno ad un perno solidale con un sistema di bielle-manovelle collegate ad un tirante verticale (posto all'interno dell'albero cavo della turbina) che è azionato da un servomotore idraulico.

Le turbine ad elica, che parimenti non prevedono una componente radiale della velocità dell'acqua, hanno distributore e ruota a pale fisse e sono utilizzate quando il salto e la portata possono essere considerati costanti.

La turbina a bulbo è una turbina a reazione che deriva dalla Kaplan, con il generatore ed il moltiplicatore (se esiste) contenuti in una cassa impermeabile, a forma di bulbo, immersa nell'acqua.

Le turbine sono progettate per un salto ed una portata predeterminata. Qualunque variazione di questi parametri deve essere compensata aprendo o chiudendo i dispositivi di regolazione della portata, come le pale direttrici, valvole o paratoie, la fine di mantenere costante, qualsiasi sia la potenza di uscita sulla rete, il livello dell'acqua nel bacino di carico o la portata che attraversa la turbina. In impianti che alimentano reti isolate, il parametro da controllare è la velocità della ruota,

direttamente proporzionale alla frequenza di generazione della corrente elettrica. All'aumentare della richiesta di energia, il generatore si sovraccarica e rallenta, viceversa, quando avviene un distacco di carico. Esistono due modi per regolare la velocità in queste situazioni: variare la portata di ingresso nella turbina (metodo convenzionale, attuato mediante dispositivi detti regolatori di velocità) o dissipare l'eccesso di potenza prodotta in banchi di resistenze. Nel caso di generatore asincrono, inserito in una grande rete di distribuzione, la rete stessa regola la frequenza, per cui non è necessario installare un regolatore di velocità.

2.1.5 Cenni sull'impatto ambientale.

La produzione di energia idroelettrica non provoca emissioni gassose o liquide che possano inquinare l'aria o l'acqua.

Gli impianti mini-idroelettrici in molti casi, con la sistemazione idraulica che viene eseguita per la loro realizzazione, portano invece notevoli benefici al corso d'acqua, fra i quali si citano in particolare la regolazione e regimazione delle piene sui corpi idrici a regime torrentizio, specie in aree montane ove esista degrado e dissesto del suolo: possono quindi contribuire efficacemente alla difesa e salvaguardia del territorio).

I grandi impianti idroelettrici a bacino possono presentare qualche problema in più, dal punto di vista dell'inserimento ambientale, e necessitano quindi di opportune valutazioni di impatto ambientale, tese a garantire l'assenza di interferenze con l'ambiente naturale. Se si realizza una diga per un impianto a bacino si hanno le seguenti conseguenze: a monte dello sbarramento si forma un invaso, e si trasforma, quindi, un ambiente di acque correnti in un ambiente di acque ferme, con un tempo di ricambio delle acque più lungo e con possibili ricadute sull'ecosistema. A valle dello sbarramento, fino al punto in cui viene rilasciata l'acqua utilizzata dalla centrale, il corso d'acqua potrebbe andare in secca per alcuni periodi se non viene garantito un rilascio continuo affinché il fiume abbia, anche in quel tratto, una portata minima adeguata: EE la portata minima (da garantire per legge) che garantisce all'ecosistema fluviale il naturale svolgimento di tutti i processi biologici e fisici viene denominata "deflusso minimo vitale".

Un ulteriore aspetto da considerare nella progettazione di un centrale idroelettrica è il contenimento dell'inquinamento acustico, il quale dipende prevalentemente dalle turbine e dagli eventuali meccanismi di moltiplicazione dei giri. Attualmente il rumore può essere ridotto fino a 70 dB (A) all'interno della centrale, e fino a livelli estremamente limitati all'esterno. Ad esempio l'impianto di Fiskbey 1 a Norrköping, in Svezia, fa registrare una rumorosità interna a pieno carico di 80 dB (A) e di 40 dB (A) all'esterno a 100 m di distanza, valore ampiamente accettabile. La rumorosità è quindi una questione facilmente risolvibile.

Il problema dell'inquinamento estetico è particolarmente riscontrabile nei grossi impianti a bacino, nei quali l'impatto visivo è evidente e difficilmente mascherabile: in questi casi è necessaria una attenta valutazione dell'impatto dell'impianto sul territorio e si deve anche valutare una possibile valorizzazione estetica degli impianti, rappresentativi di un modo pulito di produrre energia. Ognuno degli elementi di un impianto (opere di presa, sbarramento, centrale, opere di restituzione, sottostazione elettrica) può determinare un cambiamento nella percezione visuale del sito. Per diminuire questi impatti si può mascherare alcuni di questi elementi mediante la vegetazione, usare colori che meglio si integrino con quelli del paesaggio ed eventualmente costruire nel sottosuolo una parte degli impianti (ad esempio la centrale).

Il rapporto con gli ecosistemi è un aspetto fondamentale da tenere presente nella progettazione di un impianto idroelettrico: esistono infatti due aspetti che sono strettamente collegati con il prelievo di acque superficiali e che possono generare impatti di due diversi ordini:

a) impatto relativo alla variazione (diminuzione) della quantità dell'acqua, con possibili conseguenze conflittuali per gli utilizzatori ed effetti sulla fauna acquatica;

b) impatto relativo alla variazione di qualità dell'acqua in conseguenza a variazioni di quantità e a possibili modificazioni della vegetazione fluviale.

La diminuzione della portata di acqua non deve quindi essere eccessiva e deve essere rispettato il valore del deflusso minimo vitale (DMV), altrimenti si possono recare danni alla fauna ittica. In particolare si deve prendere in considerazione il movimento dei pesci che risalgono la corrente e di quelli che la discendono, prevedendo gli opportuni passaggi e le opportune reti che evitino che i pesci entrino nelle opere di presa e che passino nella turbina.

Come già accennato, la generazione di energia elettrica per via idroelettrica presenta l'indiscutibile vantaggio ambientale di non immettere nell'ecosfera sostanze inquinanti, polveri, calore, come invece accade nel caso dei metodi tradizionali di generazione per via termoelettrica. In particolare si riducono le emissioni di anidride carbonica (CO_2) di 670 g per ogni kWh di energia prodotta. A parità di energia prodotta, una centrale idroelettrica che genera 6 GWh permette di ridurre l'emissione di anidride carbonica di 4.000 t/anno rispetto ad una centrale a carbone. Per una generazione di 1.900 GWh/anno si avrebbe una riduzione di 1,27 Mt/anno di CO_2 e 3.800 t di ossidi di azoto, oltre a 535 t di particolati vari.

Altri benefici sono, come per le altre fonti rinnovabili, la minore dipendenza dall'importazione di energia, la diversificazione delle fonti e la riorganizzazione a livello regionale della produzione di energie.

2.1.6 Applicazioni.

In Italia l'energia idroelettrica, rispetto alle altre fonti rinnovabili, presenta un livello molto elevato di utilizzo delle risorse. I grandi impianti idroelettrici sono infatti oramai quasi tutti realizzati ed i margini di un ulteriore sviluppo si possono avere nella realizzazione dei piccoli impianti.

In genere molti impianti di piccola taglia si trovano realizzati in aree montane su corsi d'acqua a regime torrentizio o permanente e l'introduzione del telecontrollo, telesorveglianza e telecomando ed azionamento consentono una piena produttività, risparmiando sui costi del personale di gestione, che in genere si limita alla sola manutenzione ordinaria con semplici operazioni periodiche.

Molti impianti di piccola taglia attuano il cosiddetto recupero energetico: in linea generale, nei sistemi idrici in cui esistono punti di controllo e regolazione della portata derivata o distribuita all'utenza, come pure dei livelli piezometrici, attraverso organi del tipo di paratoie, valvole, opere idrauliche (vasche di disconnessione, sfioratori, traverse, partitori), cioè sistemi di tipo dissipativi, è possibile installare turbine idrauliche che siano in grado di recuperare salti altrimenti perduti.

I sistemi idrici nei quali esistono possibilità di recupero sono assai diversi e possono essere indicativamente raggruppati nelle seguenti tipologie:

1. acquedotti locali o reti acquedottistiche complesse;
2. sistemi idrici ad uso plurimo (potabile, industriale, irriguo., ricreativo, etc.);
3. sistemi di canali di bonifica o irrigui;
4. canali o condotte di deflusso per i superi di portata;
5. circuiti di raffreddamento di condensatori di impianti motori termici.

Si può dire che esiste la convenienza a realizzare impianti di piccola taglia ove le condotte già esistano insieme a salti e portate interessanti, sotto questo punto di vista gli acquedotti rappresentano una significativa possibilità di sfruttamento.

2.1.7 Considerazioni Economiche.

Per procedere alla valutazione economica di un impianto idroelettrico, appurato l'andamento della potenza generabile e dell'energia effettivamente utilizzabile nel periodo di funzionamento dell'impianto stesso, si procede alla definizione di tutte le voci di costo ripartite in:

- ✓ costi di investimento per opere civili, materiali vari, macchinari, manodopera, progettazione;
- ✓ oneri di gestione.

Per quanto concerne i benefici ricavati vi è sovente una notevole diversità a seconda che l'impianto sia autonomo o lavori in parallelo con la rete elettrica pubblica. In ogni caso in tali valutazioni occorre procedere il più dettagliatamente possibile ed è chiaro che la convenienza economica cresce quanto più si utilizza l'energia prodotta dall'impianto. Vi sono parecchi metodi per valutare la convenienza suddetta: alcuni metodi confrontano globalmente il costo dell'investimento con il risparmio energetico ottenibile, mentre altri metodi confrontano il costo unitario globale dell'energia auto prodotta con quello dell'energia altrimenti prevista, energia quest'ultima fornita dalla rete pubblica o da altre fonti energetiche (gruppo elettrogeno a olio combustibile, impianto a energia solare, eolica, ecc.). L'analisi economica viene estesa al tempo di vita dell'investimento e viene effettuata applicando un opportuno tasso di attualizzazione ai valori dei diversi anni.

Il costo unitario dell'energia prodotta, ossia il costo del chilowattora C , viene calcolato con la formula seguente:

$$C = [I/NE] + [I/E] i + [G/E]$$

Dove i parametri rappresentano:

- I = investimento iniziale;
- N = numero di anni d'ammortamento (solitamente diverso per le opere civili e per il macchinario)
- E = energia prodotta annualmente;
- i = tasso d'interesse;
- G = costo totale annuo di esercizio e di manutenzione.

Sinteticamente si può affermare che mentre il costo del macchinario è più facilmente definibile a priori, i costi relativi alle opere civili risultano fortemente variabili in funzione delle caratteristiche dei siti e degli eventuali imprevisti tecnico-burocratici che si possono incontrare in fase di esecuzione dei lavori. L'esperienza comunque conferma che l'idroelettricità in piccola scala risulta normalmente competitiva rispetto alle altre fonti energetiche rinnovabili e sovente anche nei confronti delle fonti tradizionali soprattutto quando per queste ultime vengono calcolati gli "effettivi" costi globali unitari. Infine, considerata l'importanza del rispetto ambientale, valore emerso con particolare evidenza in questi tempi e per il quale è auspicabile un interesse sempre più ampio anche per il futuro, si può certamente confermare che le micro e mini-centrali presentano ampie garanzie in tal senso, tenuto conto delle loro stesse caratteristiche intrinseche di installazione e di funzionamento.

2.2 Gli impianti fotovoltaici

Un impianto fotovoltaico sfrutta l'energia solare per produrre energia elettrica mediante effetto fotovoltaico. La cella fotovoltaica è l'elemento base che compone il pannello fotovoltaico: si tratta di un dispositivo allo stato solido in grado di convertire l'energia solare in energia elettrica, con un rendimento compreso tra il 10 e 15% (soltanto alcuni campioni di laboratorio superano il 20 %). Le celle fotovoltaiche, dette anche celle solari, presentano rispetto alle altre fonti di energie alternative i seguenti vantaggi :

1. non hanno parti in movimento, quindi presentano elevata affidabilità e necessitano di poca manutenzione;

2. producono energia pregiata (energia elettrica);
3. presentano rendimenti elevati (se riferiti ad un processo convenzionale che sfrutti l'energia solare e produca energia elettrica);
4. sono di facile trasporto e montaggio.

Detti vantaggi rendono i sistemi fotovoltaici molto attrattivi rispetto alle altre fonti alternative, anche se alle forme tradizionali hanno un costo non pienamente competitivo.

2.2.1 Caratteristiche tecniche

Una cella fotovoltaica è un diodo a semiconduttore con opportune caratteristiche geometriche, polarizzato direttamente da una tensione (foto-tensione) dovuta ai fotoni incidenti su di essa che generano coppie di elettroni-lacune.

Il comportamento elettrico di una cella può essere rappresentato con un circuito elettrico equivalente come in figura 2.2.1.

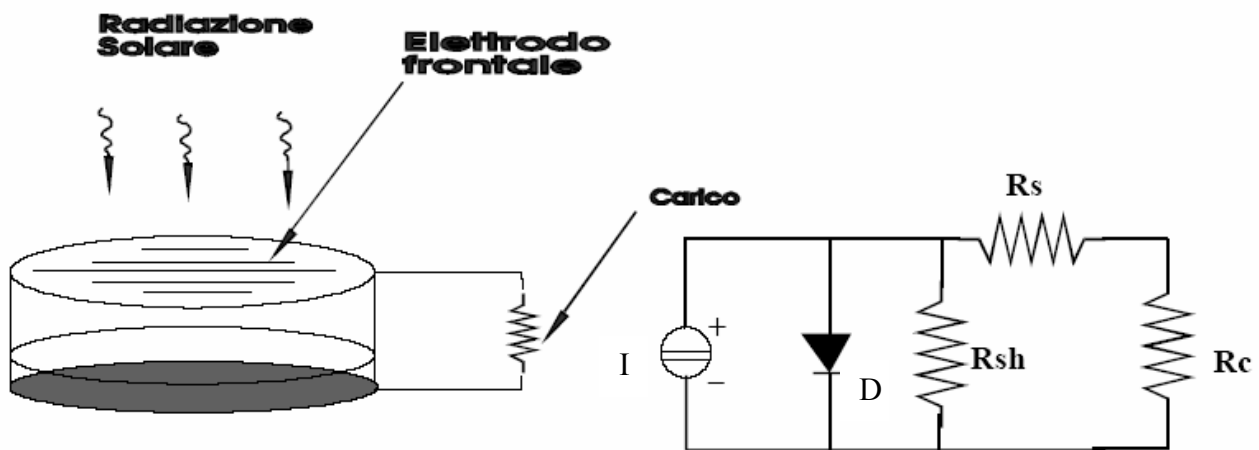


Fig. 2.2.1 Tipico schema funzionamento impianto FV

In figura 2.2.1 vengono riportati i simboli con i significati illustrati di seguito.

I : generatore ideale di corrente che rappresenta la corrente che si avrebbe dalla cella (per effetto fotovoltaico) se non ci fossero le perdite interne; essa è proporzionale alla superficie della cella esposta alle radiazioni solari.

D : il diodo che sta a rappresentare l'effetto rettificante della cella, essendo formata da una giunzione P-N.

R_{sh} : resistenza in parallelo o di "shunt". Rappresenta quelle perdite dovute a tutte le correnti di dispersione (leakage) che si hanno all'interno della cella.

R_s : resistenza in serie, che rappresenta l'insieme delle resistenze dovute sia al materiale proprio della cella che alla resistenza di contatto catodo-semiconduttore.

R_c : resistenza del carico, rappresenta un generico utente collegato alla cella.

L'equazione caratteristica di una cella fotovoltaica è data da :

$$I = I_{ph} - I_d$$

I due termini I_{ph} e I_d rappresentano rispettivamente : la corrente generata per effetto della luce e la corrente che riesce ad attraversare la giunzione della cella.

La corrente I del circuito può essere espressa come segue, secondo uno dei più utilizzati modelli di comportamento della cella fotovoltaica:

$$I = I_{ph} - I_0 \left[e^{\left(\frac{q(V+R_s I)}{AKbT} \right)} - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_{sh}}$$

dove

I_0 (A) : corrente di saturazione inversa del diodo; e' una costante che dipende dalle caratteristiche dei due semi-conduttori che formano la giunzione e dalla temperatura.

T (K°) : la temperatura assoluta

I_{ph} (A) : foto-corrente dovuta alle radiazioni luminose

q (C) : carica dell'elettrone

R_s (Ω): resistenza in serie

R_{sh} (Ω): resistenza in parallelo o di shunt

K_b (J/K°) : costante di Boltzman dei gas

A : fattore ideale

V (V) : tensione della cella

Le celle in condizioni di oscuramento non sono degli elementi attivi, quindi si comportano come normali diodi a giunzione. L'equazione che governa il loro comportamento, in questo caso, è data dall'equazione seguente :

$$I_d = I_0 \left[e^{\left(\frac{q(V+R_s I)}{AKbT} \right)} - 1 \right]$$

In genere, per necessità pratiche, le celle fotovoltaiche vengono assemblate e incapsulate a gruppi in unico contenitore ermetico, in modo da formare i cosiddetti moduli fv. Tale struttura è l'elemento base per la realizzazione di un campo fotovoltaico. All'interno di tale elemento le celle sono collegate in serie, una configurazione che permette di controllare la tensione ai morsetti del modulo. In commercio esistono diversi tipi di pannelli realizzati con diverse tecniche, le loro caratteristiche vengono riferite a condizione di NOCT (Nominal Operating Cell Temperature : irradiazione di 800 W/m², temperatura di 20°C, velocità del vento di 1 m/s, condizione di circuito aperto). I pannelli fotovoltaici non hanno parti in movimento, quindi teoricamente la loro vita dovrebbe essere infinita; nella realtà i moduli disponibili in commercio hanno una vita che non supera quasi mai i 20-30 anni, per ragioni dovute alla diminuzione del rendimento

Di norma, essendo i moduli l'elemento base nella progettazione degli impianti fotovoltaici (fv), le case costruttrici mettono a disposizione i loro dati tecnici rilevati in condizione di NOCT. Dunque, è da notare che una buona interpretazione di tali dati dipende l'esito del dimensionamento di un impianto fv.

In fine, i singoli moduli, per formare il campo fotovoltaico, vengono collegati in serie e/o in parallelo, a secondo dei valori di tensione e corrente richiesti dall'utente.

2.2.2 Principio di funzionamento

Il meccanismo con cui le celle fotovoltaiche generano energia elettrica convertendo le radiazioni solari, si basa sull'effetto foto elettrico. Per poter meglio comprendere il fenomeno, ossia come interagiscono radiazione luminosa e celle fotovoltaiche, è necessario analizzare il comportamento elettrico dei semiconduttori.

E' noto che il materiale esistente in natura può essere classificato, in base alle proprietà elettriche di conduzione, in due categorie : conduttori e isolanti. Recentemente sono stati individuati dei materiali, detti semiconduttori, appartenenti ad una terza categoria: essi manifestano delle proprietà elettriche intermedie a quelle delle altre due categorie.

In effetti però, i semiconduttori allo stato di purezza assoluta (semiconduttori intrinseci) presentano in genere una elevata resistività. Tale proprietà elettrica può essere modificata mediante l'introduzione, a concentrazione controllata, di opportune impurità (drogaggio) nel materiale. I semiconduttori di questo tipo prendono il nome di semiconduttori estrinseci. La concentrazione massima di drogante è legata all'uso a cui è destinato il semiconduttore.

A seconda del tipo di impurità utilizzato nel drogaggio, il semiconduttore può essere di due tipi :

- tipo p, in cui il drogante utilizzato è un elemento tetravalente (boro, gallio ecc.), tali impurità rendono disponibili portatori di carica positivi noti come impurità accettori;
- tipo n, in cui il drogante è un elemento pentavalente (antimonio).

Ora, ponendo a stretto contatto un semiconduttore drogato di tipo p con uno di tipo n si ottiene una giunzione p-n. Va precisato che dicendo stretto contatto si intende che deve essere garantita la continuità cristallina.

In pratica, una cella solare è formata da una lamina di silicio di tipo p con sopra un sottile strato di silicio di tipo n , lo strato di tipo n deve avere uno spessore tale da permettere alle radiazioni incidenti sulla superficie della cella di penetrare nel cristallo per una profondità sufficiente a creare coppie di lacune-elettroni in prossimità della giunzione p-n (0,5 micron).

Supponiamo che un fotone di luce dotato di una certa energia penetri nella cella fino a raggiungere la giunzione, in questa regione del cristallo il fotone incontra un atomo del silicio, secondo la teoria quantistica, il fotone viene assorbito da un elettrone di legame per cui si ha il trasferimento di un quanto di energia a un singolo elettrone bivalenza.

Come è noto, ad un fotone di frequenza f e' associata una energia $E = hf$ dove h e' la costante di Plank. Ora, se il fotone possiede energia sufficiente (ossia $hf > E_g$, l'energia del fotone è superiore all'energia della banda proibita), l'elettrone viene rimosso dalla sua propria funzione normale di legame fra due atomi adiacenti del cristallo e diventa così libero di muoversi all'interno del cristallo come elettrone di conduzione (il livello energetico dell'elettrone si trova in banda di conduzione), mentre nel contempo si crea un buco nel legame del cristallo, ossia una lacuna.

Dunque, tenendo presente che in prossimità della giunzione o sullo strato di svuotamento si ha un campo elettrico che tende a spingere gli elettroni verso il lato n e le lacune verso il lato p, le nuove coppie lacune-elettroni, generati dalla luce in prossimità della giunzione, saranno separate dal campo elettrico (riducendo così la casualità di movimento dei portatori di carica), avendo di conseguenza un flusso netto di elettroni dal cristallo di tipo p verso quello di tipo n e un flusso di lacune nel senso opposto.

Si può concludere osservando come da un dispositivo del genere sia possibile far fluire una corrente in un circuito che sia in contatto elettrico con la superficie anteriore e con quella posteriore della cella. Gli elettroni raccolti nello strato di tipo n possono ritornare nello strato di tipo p, per ricombinarsi con le lacune attraverso il circuito esterno.

Nel materiale n si possono determinare le seguenti situazioni :

A) L'assorbimento avviene nella zona di svuotamento (giunzione); in questo caso l'elettrone viene spinto dal campo elettrico ivi esistente, verso il materiale n e la lacuna verso il materiale p. Si ricordi infatti che il campo elettrico di giunzione è diretto da n verso p e quindi favorisce il passaggio di lacune da n a p e quello degli elettroni da p a n.

B) L'assorbimento avviene in prossimità della zona di svuotamento, ad esempio nel materiale n. In questo caso, si ha che se la lacuna raggiunge, per diffusione, la zona di carica spaziale viene immediatamente portata, dal campo di giunzione, nel materiale p. Si osservi che le cariche positive generate nel materiale n tendono sempre a diffondere verso la giunzione. Infatti nello strato n, la presenza del campo elettrico, del verso indicato precedentemente, fa sì che esista un gradiente di concentrazione delle cariche positive, nel senso che la loro concentrazione diminuisce man mano che si avvicina alla giunzione al punto che, in corrispondenza di questa, la loro concentrazione è estremamente ridotta. Il campo elettrico infatti le porta immediatamente nel materiale p. In

conseguenza di tale gradiente, la carica positiva si muove verso la giunzione e viene da questa spinta verso il materiale p.

C) Se la generazione avviene lontano dalla zona di giunzione le cariche, generalmente, si ricombinano dopo un tempo pari alla loro vita media.

Riassumendo, nei casi a) e b) si ha un contributo alla potenza elettrica ai morsetti del dispositivo dovuto all'accumulo di elettroni nel materiale n e di lacune nel materiale p, nel caso c) non si ha, in genere, alcun effetto utile.

La corrente che scorre nel circuito esterno è una misura della rapidità con cui si formano le coppie elettroni-lacune, rapidità che è funzione dell'intensità della luce incidente e del numero di elettroni e di lacune che si ricombinano.

Curva caratteristica

In laboratorio, per ottenere la curva caratteristica delle celle si utilizza come fonte luminosa una lampada speciale che simula lo spettro del sole.

L'utilizzo di una batteria a tensione variabile come carico permette di simulare un carico variabile, i dati registrati nell'esperimento vengono poi riportati su un grafico (vedi figura 2.2.1): la curva risultante è detta "curva caratteristica della cella".

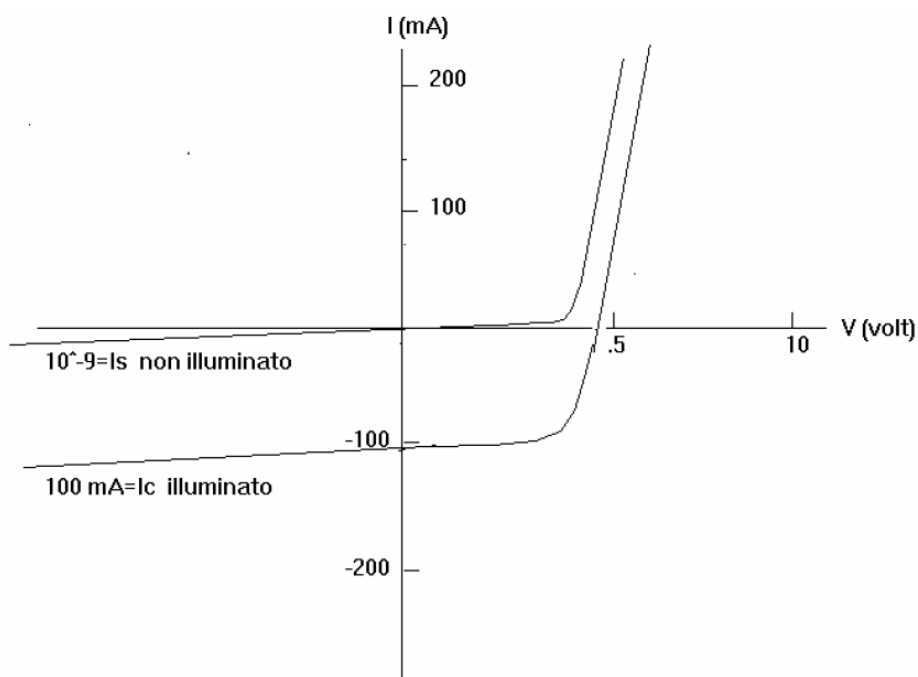


Fig.2.2.1 Curva caratteristica di una cella FV

La curva riportata nel grafico di figura 2.2.1 è quella che descrive il comportamento della cella in qualsiasi situazione.

In genere, trovandosi la parte interessata della curva caratteristica sotto l'asse delle ascisse, è di normale uso ribaltare la curva caratteristica rispetto all'asse delle tensioni.

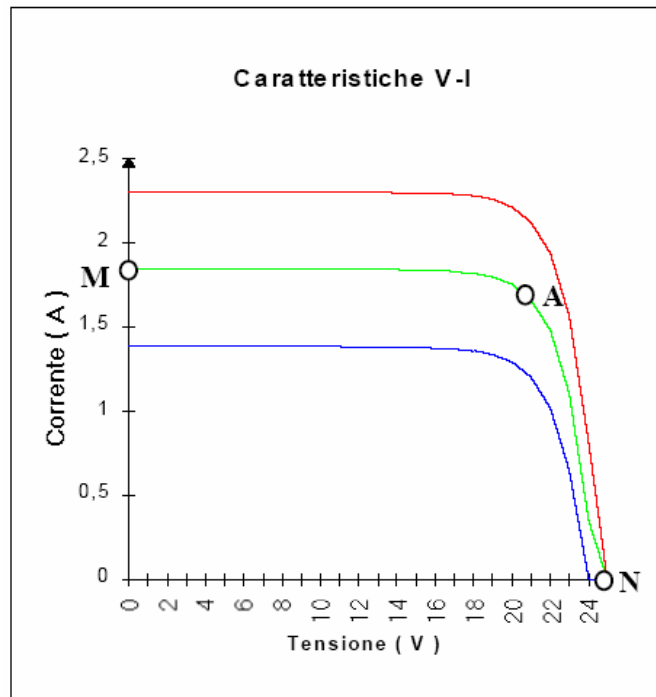


Fig.2.2.2 Curva caratteristica di una cella FV

Osservando la curva caratteristica esemplificata in figura 2.2.2, essa passa per tre punti significativi. ossia :

- Punto M (I_{cc}) : situazione di corto circuito, in questa situazione si ha $V=0$ e $I=I_{cc}$, dove I_{cc} è la corrente erogata dalla cella quando a questa viene applicato un carico con resistenza nulla.
- Punto N (V_{oc}) : situazione di circuito aperto, in questa situazione si ha $V=V_{oc}$ e $I=0$, dove V_{oc} è la tensione ai morsetti della cella quando a questa viene applicato un carico a resistenza infinita (aperto).
- Punto A (P_{max}) : situazione di massima potenza ossia il punto in cui il prodotto tensione corrente della cella è massimo, in questa situazione si ha $P=P_{max}$. E' importante osservare che la potenza erogata dalla cella è data dal prodotto $I V$, per cui le curve a potenza costante sono delle iperbole nel piano I - V , l'iperbole a potenza massima è quella che interseca la caratteristica V - I solo per un punto. Tale punto non è altro che il punto di massima potenza. In altri termini, la potenza erogabile da una cella è massima in corrispondenza del ginocchio della curva, essa è caratterizzata dal rettangolo che ha l'area massima tra tutti i rettangoli inscrivibili all'interno della curva caratteristica.

Tensione a circuito aperto

Nella condizione di circuito aperto, la tensione ai morsetti della cella V_{oc} è espressa analiticamente da :

$$V_{oc} = \frac{Ak_b T}{q} \ln \left(\frac{I_{ph} + I_0}{I_0} \right)$$

La tensione a circuito aperto corrisponde alla caduta di tensione attraverso la giunzione p-n, quando questa è attraversata dalla corrente generata dalle radiazioni (foto-corrente I_{ph}).

La tensione V_{oc} cresce logarithmicamente al crescere dell'intensità della radiazione, viceversa decresce linearmente al crescere della temperatura della cella (vedi figura 2.2.3)

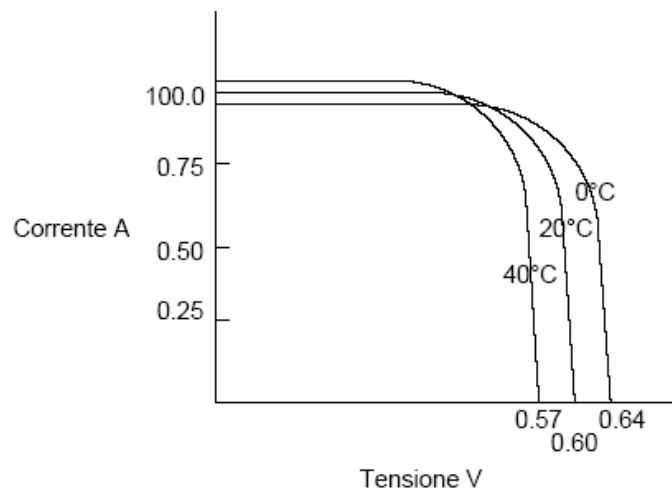


Fig.2.2.3 Curve caratteristiche per diversi valori della temperatura

L'effetto della temperatura, così spiccato sulla cella, è dovuto all'aumento esponenziale della corrente di saturazione all'aumentare della temperatura.

In condizioni di corto circuito (figura 2.2.4) con una insolazione normale, la corrente di corto circuito diventa proporzionale all'intensità della radiazione solare E_e (W/m^2):

$$I_{cc} = I_{ph} = kE_e$$

dove K è un parametro costante.

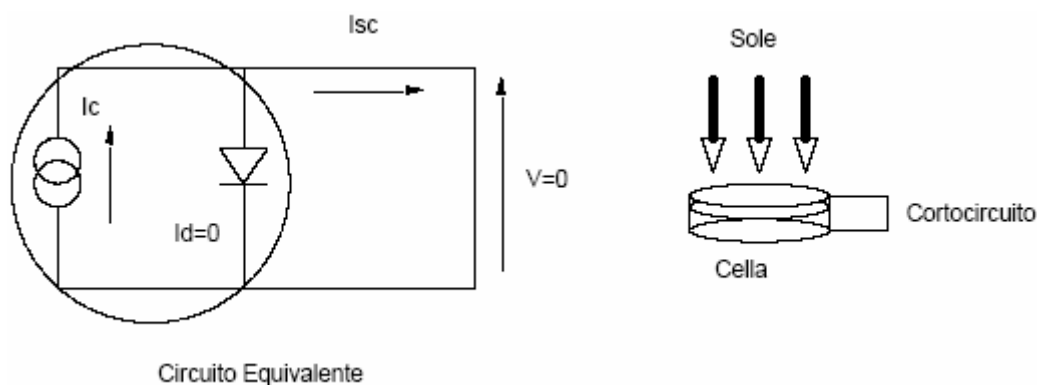


Fig.2.2.4 Circuito equivalente cella FV in c.c.

Consideriamo la curva caratteristica di una cella ad una data intensità di radiazione e una data temperatura. Se ai morsetti della cella viene connessa una resistenza variabile, il punto di funzionamento (o di lavoro) sarà determinato dall'intersezione della caratteristica della cella con quella del carico. Per un carico resistivo, la caratteristica è data da una retta passante per l'origine ed inclinata di $1/R$. Dunque, le condizioni di funzionamento sono le seguenti :

1. la potenza erogata al carico dipende dal valore della resistenza.

- la massima potenza si ottiene per il valore della resistenza $R=R_{\max}$ nel punto A, dove la caratteristica della cella è tangente all'iperbole a potenza costante.

Per quanto riguarda il punto di funzionamento (individuato dalla coppia di valori corrispondenti alla corrente e alla tensione di funzionamento), la curva caratteristica è suddivisibile in tre zone (figura 2.2.5) :

- la zona del ginocchio, in cui sia la tensione che la corrente di funzionamento dipendono dall'intersezione delle due caratteristiche.
- una zona in cui la cella impone una corrente quasi uguale a quella di cortocircuito per si comporta come un generatore di corrente ($I=I_{cc}$).
- una zona in cui la cella impone al circuito una tensione: in questa zona la cella si comporta come un generatore di tensione ($V=V_{oc}$).

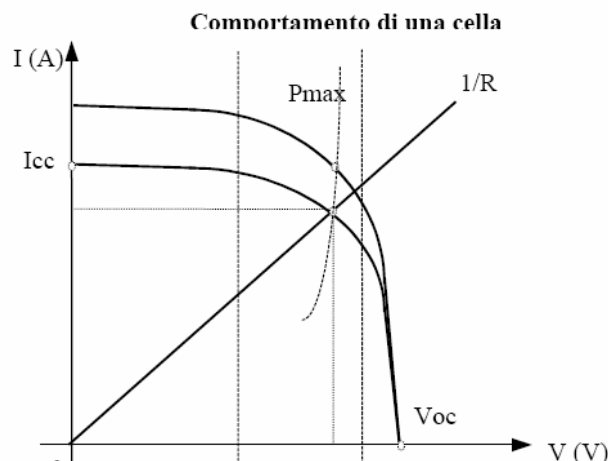


Fig.2.2.5 Comportamento cella FV in corrente e tensione di funzionamento.

2.2.3 Fattori che influenzano la produzione

Radiazione solare

L'intensità della radiazione solare (W/m^2) che una cella riceve, ossia la densità dell'energia luminosa, dipende da vari fattori, tra cui :

- l'angolo di incidenza, ossia l'angolo tra la normale alla superficie della cella e i raggi solari;
- la densità dell'atmosfera;
- le caratteristiche della superficie (riflessione).

In figura 2.2.6 sono riportate le caratteristiche della cella al variare dell'intensità della radiazione.

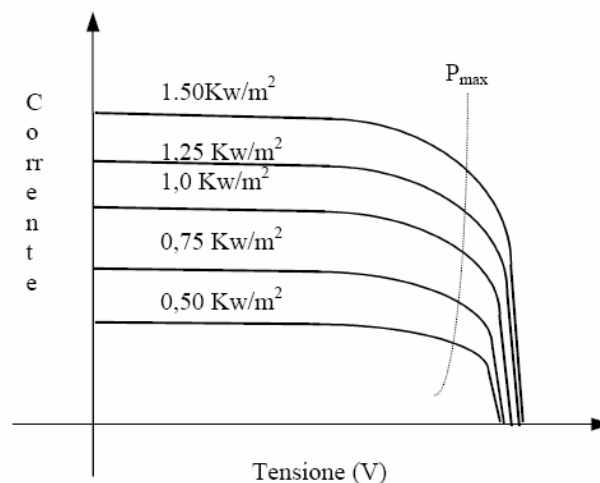


Fig.2.2.6 Caratteristiche cella Fv al variare dell'intensità della radiazione.

E' da osservare, che nel grafico di figura 2.2.6, facendo variare l'intensità delle radiazioni incidenti, mantenendo costante tutti gli altri parametri, e in particolare la temperatura, la curva caratteristica I-V varia in modo che ogni punto della curva viene traslato verso l'alto.

Riassumendo, gli effetti dell'intensità della radiazione sugli altri parametri possono essere raggruppati nei seguenti punti :

- A bassi valori dell'intensità, I_{cc} rimane praticamente proporzionale all'intensità della luce. Tale rapporto è dell'ordine di 30 mA/cm^2 , quando l'intensità della radiazione solare è di 1 Kw/m^2 (per una cella al silicio a $T = 25^\circ\text{C}$).
- V_{oc} varia leggermente al variare dell'intensità della luce, ed è indipendente dall'area della cella. Esso dipende dal materiale costituente la cella. (circa 590 mV per 1 Kw/m^2 e $T=25^\circ\text{C}$).

Temperatura della cella

La temperatura è uno dei fattori che influenza negativamente le caratteristiche elettriche di una cella, al punto tale che se non considerata, in fase di progettazione, potrebbe compromettere il buon funzionamento dell'impianto.

Gli effetti prodotti dalla temperatura sulla caratteristica di una cella, possono essere riassunti nei seguenti punti :

- a) all'aumentare della temperatura la I_{ph} aumenta leggermente: tale effetto è spiegabile considerando che all'aumentare della temperatura si ha una diminuzione dell'ampiezza di banda proibita E_g , di conseguenza, altri elettroni potranno passare dalla banda di valenza alla banda di conduzione.
- b) altri parametri che crescono all'aumentare della temperatura sono: V_{oc} (crescita lineare); I_o (crescita esponenziale).

2.2.4 Il rendimento (efficienza)

In generale, il rendimento di una cella è definito come il rapporto tra la potenza elettrica erogata dalla cella e la potenza luminosa incidente su di essa, ossia :

$$h = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{AE_e}$$

dove

h = il rendimento della cella.

P_{out} (W) = Potenza elettrica erogata dalla cella.

P_{in} (W) = Potenza luminosa incidente.

A (m^2) = Area utile.

E_e (W/m^2) = Intensità delle radiazioni incidenti.

Come è noto il rendimento di una cella commerciale è tipicamente compresa fra il 10 % e il 15 %, solo certi campioni di laboratorio hanno raggiunto la soglia del 20 % con costi molto elevati.

Normalmente, le case costruttrici forniscono, tra i dati di targa, il rendimento massimo della cella, ossia il rendimento che si avrebbe se la cella, in condizioni particolari (NTOC), venisse collegata ad un carico ottimizzato. Il rendimento massimo di una cella dipende strettamente dai seguenti fattori :

- proprietà del materiale;
- caratteristica della giunzione;
- distribuzione spettrale delle radiazioni;
- dimensione della cella;

- area utile della superficie esposta della cella;
- temperatura della cella;
- adozione di rivestimento antiriflesso;
- escursione della temperatura;
- struttura superficiale della cella (ruvidità).

Gran parte dell'energia luminosa che raggiunge una cella viene persa prima che essa possa essere convertita in elettricità a causa di molteplici fattori, fra i quali la riflessione delle radiazioni.

Come è noto, non tutte le radiazioni incidenti su una cella penetrano al suo interno, infatti in parte vengono riflesse sulla superficie della cella e in parte intercettate dell'elettrodo frontale.

Normalmente il silicio non trattato, usato per realizzare le celle fotovoltaiche, riflette circa il 36 % della radiazione solare, per cui per ridurre la percentuale riflessa si ricorre a diversi tipi di trattamento. I metodi più utilizzati per il trattamento delle superficie captante sono di seguito illustrati.

- Utilizzazione, sulla superficie della cella, di un rivestimento anti-riflesso : In questo trattamento, la cella viene rivestita con un materiale che ha un indice di rifrazione intermedio fra l'aria ed il silicio. Tale sistemazione permettere al materiale di fungere da un lato da protezione alla cella, e dall'altro raccorda in modo meno brusco l'indice di rifrazione del silicio con quello dell'aria. Un buon rivestimento anti-riflesso può essere uno strato di monossido di silicio (SiO) o di pentossido di titanio (TiO_5).
- Opacizzazione della superficie: Questo metodo consiste nel rendere ruvida la superficie della cella, per esempio realizzando sulla superficie della cella delle micro-piramidi, di conseguenza, per la particolare configurazione superficiale, le radiazioni riflesse da una micropiramide vanno a incidere su un'altra micropiramide vicina alla prima, evitando così la dispersione di tutta la parte riflessa delle radiazioni. L'effetto risultante è quello di una maggiore probabilità di assorbimento. In pratica, il metodo dell'opacizzazione ha come conseguenza un recupero del 15% dell'energia che normalmente viene riflessa.

Un secondo fattore di perdita di rendimento è dato dalla presenza di fotoni con energia inadeguata a produrre coppie di lacune - elettroni: infatti, come è noto dalla fisica quantistica, non tutta l'energia posseduta dai fotoni che penetrano in una cella può essere convertita in energia potenziale. I fotoni non utilizzabili da una cella fotovoltaica possono essere suddivisi in :

A) Fotoni che attraversano trasversalmente la cella senza cedere energia .

B) Fotoni assorbiti che però non hanno sufficiente energia per rompere il legame.

Sono proprio questi fotoni che contribuiscono ad aumentare la temperatura della cella.

Altre cause di perdite secondarie sono:

- perdite dovute alle resistenza interna della cella stessa (ossia al corpo della cella, Bulk);
- auto-oscuramento (self-shading), dovuto alla griglia metallica di raccoglimento dei portatori;
- degradazione delle prestazioni della cella, subite durante un lungo tempo di funzionamento in cui la temperatura di lavoro della cella non è ottimale;
- carico non ottimizzato, ossia tale da provocare un punto di funzionamento della cella distante dal ginocchio della curva caratteristica I-V (matched load condition).

2.2.5 L'accumulo nei sistemi fotovoltaici

La fluttuanza ed imprevedibilità dei sistemi fotovoltaici rende necessario, in certi casi, l'utilizzo di un sistema di accumulo che permetta di garantire all'utente le prestazioni richieste (tensione, corrente, frequenza ecc.).

Il ruolo che il sistema di accumulo ha nei sistemi fotovoltaici lo si può sintetizzare nei seguenti punti :

1. Ridurre la fluttuanza (eccesso/difetto di energia).
2. Assorbire i momentanei carichi di punta.
3. Erogare energia nei periodi di maltempo (back-up).

I metodi che normalmente si utilizzano per accumulare l'energia prodotta dai sistemi fotovoltaici, si basano su varie tecniche e sono classificabili in metodi meccanici (quali l'accumulo idraulico e l'accumulo ad aria compressa) e metodi elettrochimici. Di seguito se ne riporta una sintetica panoramica.

Metodi meccanici

Accumulo idraulico

Questa tecnica, che permette di trasformare energia elettrica in energia potenziale e viceversa, è un metodo tradizionale molto utilizzato. Esso consiste nel pompare acqua da un basso livello fino all'altezza di un serbatoio disposto ad una certa quota. Durante i periodi di massima insolazione in cui l'energia generata supera quella richiesta, l'eccesso di energia verrà accumulata sotto forma di energia potenziale, pompando acqua nel serbatoio. Al contrario, nei periodi di elevate richieste energetiche, l'energia potenziale verrà ritrasformata in energia elettrica da delle piccole turbine. Il rendimento globale di questo sistema si aggira intorno ai 60 % - 70 %. Uno degli svantaggi di questo metodo è che necessita grandi quantitativi di acqua e quindi ha limitate possibilità di utilizzo. Il metodo sopra esposto diventa molto interessante nel caso dei sistemi di pompaggio fotovoltaici, nei quali non si ha la ritrasformazione dell'energia potenziale dell'acqua accumulata nel serbatoio in energia elettrica.

Accumulo ad aria compressa

Il metodo si basa nell'accumulare aria compressa in serbatoi metallici sotterranei, questo metodo è più complesso del metodo idrico ma permette di raggiungere densità energetiche più elevate ed è economicamente più vantaggioso del sistema idrico.

Metodi Elettrochimici

Accumulo dell'idrogeno

L'idoneità del metodo risulta dal fatto che i pannelli fotovoltaici producono energia elettrica adatta al processo di elettrolisi dell'acqua (energia elettrica in corrente continua e a bassa tensione).

L'idrogeno prodotto con questo metodo, in genere, viene accumulato in contenitori metallici ad alta pressione interrati. Il processo inverso, ossia quello di ottenere energia elettrica dall'idrogeno, avviene utilizzando l'idrogeno come combustibile, per cui questo rappresenta uno dei vantaggi di questo sistema. Facendo riferimento all'esperienza che si è acquisita sull'utilizzo, accumulo e trasporto dell'idrogeno e la sua larga utilità, l'idrogeno potrebbe diventare il combustibile del futuro se si realizzassero grandi impianti fotovoltaici per la produzione di idrogeno nelle zone desertiche (Sahara).

Comunque, al momento la maggiore limitazione è dovuta al basso rendimento di questo sistema, rendimento inteso come il prodotto dei rendimenti di tutto il processo. Attualmente il rendimento globale si aggira infatti su valori inferiori al 50 %.

Accumulo elettrochimico (batterie)

Tra i diversi metodi di accumulo dell'energia elettrica, quello delle batterie si presenta come quello più usato per la sua affidabilità e praticità, avendo raggiunto una certa maturità tecnica. Gli accumulatori elettrochimici (batterie) sono dispositivi in grado di assorbire una certa quantità di

energia elettrica trasformandola in energia chimica per poi ritrasformarla nuovamente in energia elettrica, quando questa viene richiesta.

In particolare, gli accumulatori piombo - acido possono essere classificati in tre grandi categorie a seconda del tipo di servizio che sono chiamati a svolgere, ed in particolare si hanno :

1. accumulatori stazionari : a questa categoria appartengono gli accumulatori destinati ai sistemi fotovoltaici e a tutte le applicazioni di sicurezza e di emergenza. La principale caratteristica di questi elementi è l'affidabilità, ovvero la capacità di erogare energia in seguito a fluttuazioni, disturbi o completa mancanza di alimentazione. Le batterie stazionarie si differenziano tra di loro per le caratteristiche di scarica, per il comportamento al variare della temperatura e per il volume occupato.
2. accumulatori per trazione : sono gli accumulatori destinati alla propulsione di veicoli elettrici semoventi quali elettro - carri, trattori, carrelli industriali e locomotori il cui utilizzo è necessario ogni qualvolta l'ambiente di lavoro richiede l'uso di strumenti ed attrezzature particolarmente non inquinanti. Le caratteristiche principali di questo tipo di accumulatori sono costituite da un'elevata capacità di sovraccarico che consente elevate prestazioni di punta di breve durata e da un ridotto costo di ricarica, soprattutto quando questa viene effettuata nelle ore notturne.
3. accumulatori per avviamento : sono le comuni batterie installate sui veicoli e destinate all'avviamento del motore a scoppio ed a tutti quei servizi ausiliari dove si richiede energia elettrica. Le caratteristiche specifiche di questo tipo di accumulatore sono essenzialmente l'affidabilità, l'alta potenza elettrica di avviamento a freddo, il peso e la durata.

2.3 Termovalutatori a biomassa

Per biomassa si intende ogni sostanza organica derivante direttamente o indirettamente dalla fotosintesi clorofilliana. Questo processo permette alle piante durante il loro sviluppo, di convertire la CO₂ atmosferica in sostanza organica. Il termine biomassa riunisce una grande quantità di materiali, di natura assai eterogenea. In forma generale, si può dire che è biomassa tutto ciò che ha origine organica, con esclusione delle plastiche di origine petrolchimica e dei combustibili fossili.

Tab 2.3.1 Potere calorifico delle biomasse riferito alla sostanza secca in kcal/kg.

Biomassa	Potere calorifico (kcal/kg)	Biomassa	Potere calorifico (kcal/kg)
Bagassa	4500	Sorgo	4200
Panicum Virgatum	4400	Eucalipto	4150
Corteccia	4350	Scarti del Legno	4100
Stocchi di girasole	4300	Paglia	4100
Robinia	4300	Lolla	3600
Pioppo	4200	Rifiuti Solidi Urbani	2500
Salice	4200		

Esempi sono i residui di coltivazione destinati all'alimentazione umana e animale, le piante espressamente coltivate per scopi energetici, i residui agroforestali, gli scarti dell'industria del legno,

gli scarti delle aziende zootecniche, gli scarti mercatali e la frazione organica dei rifiuti solidi urbani.

Le principali applicazioni sono la produzione di energia (bioenergia), la sintesi di carburanti (biocarburanti) e la sintesi di prodotti (bioprodotti).

Le biomasse hanno una modesta densità energetica se paragonata a quella dei combustibili tradizionali. Infatti il potere calorifero riferito alla sostanza secca è in genere compreso tra 4000 e 4400 kcal/kg di calore, contro circa 10000 kcal/kg del petrolio e 12000 kcal/kg del gas naturale; inoltre spesso il tenore di umidità delle biomasse è assai elevato (dal 30 al 50% in peso), per cui, specialmente nei processi di conversione termodinamica come combustione, gasificazione e pirolisi, sono necessari adeguati pretrattamenti come essiccazione e densificazione per poterne sfruttare al meglio le qualità energetiche. In tabella 2.3.1 sono riportati i valori del potere calorifico di alcune biomasse.

La formula chimica generale con cui vengono indicate le biomasse è $C_xH_yO_z$; le frazioni massiche di tali elementi si aggirano intorno al 50% per il Carbonio, al 6% per l'Idrogeno e al 40% per l'Ossigeno, mentre il restante 4% è costituito da tracce di Cl, N, S e ceneri.

La previsione della superficie di terreno necessaria al reperimento della biomassa deve tener conto innanzitutto della produttività del luogo.

Una piantagione commerciale di Eucaliptus in clima tropicale ad esempio potrebbe avere 1200 piante/ha, una frequenza di taglio ogni 7 anni, e un raccolto al settimo anno di 300 m³/ha di legno duro.

A questo corrispondono circa il 50% (150 tonnellate) di legno secco, e a sua volta a questo corrisponde il 50% (75 tonnellate) di carbonio. Per ottenere la CO₂ asportata si moltiplica per il coefficiente stechiometrico 3,67.

Ogni tipo di albero ha un diverso ritmo di crescita in funzione della specie, delle caratteristiche del suolo, del clima, della distanza dalle altre piante. La tabella 2.3.2 contiene le relazioni impiegabili per il calcolo del peso di alberi comuni in funzione del diametro del fusto.

Tab 2.3.2 Peso di alberi comuni in funzione del diametro del fusto.

Albero	Peso (kg) [Diam. (cm)]	Albero	Peso (kg) [Diam. (cm)]
Frassino	$P=0,1063 D^{2,4798}$	Acero	$P=0,0910 D^{2,5080}$
Faggio	$P=0,0842 D^{2,5715}$	Castagno	$P=0,0554 D^{2,7276}$
Olmo	$P=0,0629 D^{2,6606}$	Pino	$P=0,1617 D^{2,1420}$

La variazione di crescita di anno in anno può essere rilevante, in dipendenza dei fattori meteorologici, come si intuisce guardando l'irregolarità del diametro dei cerchi di un albero tagliato. Dal diametro del fusto si può stimare la massa dell'albero.

Le tecniche moderne di coltivazione (*short rotation forestry*) hanno massimizzato la densità di impianto per ettaro coltivando e tendono a ridurre ad un biennio o addirittura ad un anno il ciclo di raccolta della biomassa. Un numero elevato di piante per unità di superficie con un ciclo di raccolta breve consente di ottenere elevate produzioni. Piante con un fusto di diametro ridotto facilitano la meccanizzazione spinta della raccolta, con una sola operazione per il taglio e per la cippatura (riduzione del legno in pezzi con dimensione massima di circa 5-8 cm).

Per la previsione del contenuto energetico è fondamentale stimare la quantità d'acqua presente nel legno. In funzione di questa possiamo sapere il potere calorifico rimanente.

Anche nella produzione di esteri da piante oleaginose uno dei punti fondamentali è il reperimento e Nella produzione di energia da scarti la risorsa si calcola dalla produzione principale da cui lo scarto deriva.

Per esempio, nella produzione di biogas da deiezione, la risorsa è il prodotto del numero di capi per la capacità media di produzione (si veda tabella 2.3.3).

Tab 2.3.3 Produzione di deiezioni animali in funzione della specie allevata.

Tipologia Allevamento	Produzione kg/giorno
Bovini	25-40
Suini	3-10
Avicolo	0,15
Equino	22

2.3.1 Conversione per l'utilizzo.

I metodi di conversione delle biomasse in energia sono molteplici. In generale si trasforma la biomassa in una forma facilmente gestibile, per poi utilizzarla.

Una caratteristica distintiva delle biomasse è il contenuto d'acqua. Ad un basso contenuto si adattano i processi termodinamici, mentre ad alti contenuti sono adatti i processi biochimici.

Un altro criterio è il rapporto carbonio-azoto (C/N): i materiali con un rapporto elevato sono adatti alla combustione, mentre per valori inferiori a 30 vengono sottoposti a trattamenti biologici.

La fase principale e tecnologicamente più distintiva è la conversione da materiale vegetale a materiale pronto per la conversione in energia. Questo processo può avvenire in forma termochimica, con l'uso del calore, oppure chimica con una trasformazione chimica, o biochimica, quando nella trasformazione agiscono elementi biologici (batteri).

Ai fini della produzione di energia è necessario trasformare la biomassa in prodotti più facilmente utilizzabili, per esempio attraverso una modifica termochimica delle sue proprietà.

Il processo si basa sull'azione del calore, che permette le reazioni necessarie a trasformare l'energia chimica delle biomasse in ulteriore calore destinato all'utilizzo diretto o alla produzione di energia elettrica. Si applica a materiali e residui cellulosici in cui il rapporto tra la frazione massiccia e del carbonio e quella dell'azoto (C/N) sia superiore a 30 e il cui contenuto di umidità sia inferiore al 30%.

Si tratta essenzialmente di legna e tutti i suoi derivati, paglia da cereali, residui di potatura della vite e dei frutteti e taluni scarti di lavorazione agricola (pula, gusci, noccioli...).

Combustione diretta

Si effettua generalmente in caldaie, con buoni rendimenti (80-85%) se si utilizzano combustibili tradizionali come legna derivante da bosco ceduo o piante lignee a crescita rapida e corta rotazione come l'eucalipto, la robinia, il salice, la canna comune. Tali prodotti vengono sottoposti al processo di essiccazione naturale o artificiale. Risultano composti da:

- ✓ 40-50% in peso di cellulosa (potere calorifico pari a 4200 kcal/kg;
- ✓ 10-20% da emicellulosa (potere calorifico pari a 4200 kcal/kg;
- ✓ 30-40% da lignina (potere calorifico pari a 3700-4000 kcal/kg.

La reazione di combustione della biomassa può essere ben rappresentata da quella della cellulosa, una macromolecola composta da un numero n di molecole semplici, di formula chimica $(C_6H_{10}O_5)_n$



La presenza nella biomassa di molecole complesse contenenti zolfo e azoto fa sì che nella combustione si producano tracce dei rispettivi ossidi (SO_x e NO_x).

Diverse sono le tecnologie di combustione (in sospensione, a griglia fissa, a griglia mobile ed altre) ma quella per cui si raggiungono rendimenti di combustione più elevati ($>90\%$) ed emissioni inquinanti assai ridotte è la tecnologia a letto fluido, per la quale molto importante è la granulometria della biomassa che deve essere assai ridotta al fine di avere un elevato rapporto superficie/volume necessario per mantenere stabile la combustione.



Fig 2.3.1 Cippato stoccato in silos interrato con coclea di carico (centrale di Torre Belvicino e Valli del Pasubio, VI), potenza 400 kW termici, consumo 2300 quintali/anno.



Fig 2.3.2 Caldaia per combustione interna a cippato di castagno (Valli del Pasubio, VI), potenza 700 kW termici, consumo 4000 quintali/anno.

Gasificazione

Il processo prevede un'ossidazione parziale in difetto di ossigeno, a temperatura elevata (900-1000°C), in cui si ottiene un gas combustibile composto da: H_2 , CO, CO_2 , H_2O , CH_4 , idrocarburi vari e N_2 . In generale il processo di gasificazione può essere suddiviso in varie fasi ben distinte tra di loro. Nella prima fase, a temperature superiori a 100°C si ha l'essiccazione della biomassa in cui questa non subisce alcuna decomposizione; nella seconda, tra 300-500°C, si ha la pirolisi in cui si verifica la decomposizione termica in assenza di ossigeno; nella terza, tra 700°C e 1000°C, i prodotti di pirolisi reagiscono con l'ossigeno (ossidazione) per produrre CO, CO_2 , e in fine si ha la fase di riduzione, caratterizzata da reazioni endotermiche (tra 800-1100°C), in cui è fondamentale il ruolo dell'acqua nella formazione di idrogeno H_2 .

Pirolisi

E' un processo ottenuto mediante l'applicazione di calore a temperature comprese tra 400-800°C in completa assenza di ossigeno. Si applica prevalentemente su piante ligneo-cellulosiche; i prodotti sono sia gas ad alto potere calorifico, che solidi, in proporzioni che dipendono dai metodi di pirolisi (veloce o lenta) e dai parametri di reazione

Conversione Biochimica.

In tale processo la biomassa viene modificata chimicamente grazie all'azione di enzimi, funghi e microrganismi che si formano sotto particolari condizioni; viene applicata per quei materiali in cui il già citato rapporto C/N sia inferiore a 30 e l'umidità alla raccolta superiore al 30%.

Sono quindi idonei a tale conversione le colture acquatiche, i reflui zootecnici, alcuni scarti di lavorazione e la biomassa eterogenea immagazzinata nelle discariche controllate.

Digestione anaerobica

E' un processo biologico realizzato in assenza di ossigeno da alcuni batteri patogeni, attraverso il quale la sostanza organica viene trasformata in biogas costituito per il 50-80% da metano e per la restante parte CO₂

$$H = x_{CH_4} \cdot H_{CH_4} [kJ / Nm^3]$$

Con un potere calorifico H variabile da circa 18000 (kJ/Nm³) a 28650 (kJ/Nm³).

L'anidride carbonica può essere successivamente eliminata e il gas utilizzato come combustibile per alimentare caldaie a gas o energia in motori a combustione interna.

Poiché la digestione anaerobica può essere considerata anche come un processo di trattamento di inquinanti, le condizioni operative possono essere scelte per realizzare la massima resa di depurazione o la massima resa di prodotti ad alto contenuto energetico (CH₄).

I vantaggi derivanti da tale processo sono molteplici:

- ✓ Produzione di energia da fonte rinnovabile;
- ✓ Miglioramento dell'economia delle aziende zootecniche e agricole;
- ✓ Minori emissioni di gas-serra, migliore qualità dei fertilizzanti prodotti;
- ✓ Demolizione di rifiuti agricoli industriali e civili che possono creare problemi di inquinamento e di salute pubblica;
- ✓ Minore inquinamento da odori e ridotta presenza di insetti;
- ✓ Miglioramento delle condizioni igienico-sanitarie dell'azienda.

2.3.2 Prestazioni

Uno sviluppo sempre più consolidato per la generazione di corrente elettrica e teleriscaldamento risiede nella cogenerazione che rappresenta il miglior modo per estrarre quantitativi di energia in forme differenti.

L'impianto a cui si riferiscono le figure 2.3.1 e 2.3.2 sfrutta questo principio riscaldando due edifici ad uso pubblico producendo energia elettrica, seppure in quantità limitata.

L'ubicazione degli impianti, installati presso edifici scolastici si trovano in prossimità delle frazioni di Torre Belvicino e Valli del Pasubio (VI).

L'impianto di Torre Belvicino riscalda il complesso degli edifici scolastici per un volume di 19.000 mc, la caldaia ha 400 kW di potenza termica, nel periodo invernale consuma in media 1040 mc di cippato (circa 2300 quintali).

Il cippato utilizzato è di castagno, con un peso specifico di 2,2 q/mcs (metrocubo stero, aria inclusa) e viene acquistato da ditte locali a 20 euro/mc (circa 9 euro/quintale) incluso trasporto e riempimento del silos, che è posizionato sotto il parcheggio della scuola. L'impianto inoltre è in grado di produrre una potenza elettrica di circa 5 kW, ma questa caratteristica è di per sé utilizzata solamente a scopo dimostrativo.

L'impianto completo, realizzato nel 2002, è costato 128.000 euro (comprese le opere murarie); la manutenzione della caldaia costa circa 2600 euro/anno, ed è effettuato da un tecnico termoidraulico locale.

L'impianto di Valli Del Pasubio, più recente, serve sempre il complesso scolastico e una mensa comunale per totali 13.000 mc di volume da riscaldare, la caldaia ha una potenza di 700 kw, idonea a servire anche futuri ampliamenti dell'edificio. È dotata di un sistema di telegestione a distanza che permette all'operatore di effettuare le principali regolazioni senza doversi recare sul posto.

È una caldaia dotata di bruciatore a griglia mobile, può cioè utilizzare cippato a umidità variabile e di varia provenienza, meno omogeneo rispetto a quello di cui abbisogna la caldaia di Torre Belvicino, ma ciò comporta anche rendimenti termici minori quando l'umidità del cippato supera determinati valori medi. Il costo dell'impianto (incluse le opere murarie), realizzato nel 2005, è di

circa 250.000 euro, coperto con fondi previsti dalla L. 94/97. Questo impianto è stato affidato a una piccola ESCo (Energy Service Company) costituitasi per l'occasione tra alcuni imprenditori agroforestali locali, che garantiscono l'approvvigionamento dell'impianto termico e la manutenzione dello stesso. Il servizio viene remunerato secondo la quantità di calore prodotto, quantificabile mediante un contatore incluso nell'impianto. Il vantaggio è rappresentato dal fatto che l'Ente pubblico, una volta realizzato l'impianto, non ha ulteriori costi di gestione, e di fatto, affida completamente l'impianto alla ESCo.

2.3.3 Impatto sull'ambiente

Lo sfruttamento delle biomasse per fini energetici non concorre all'effetto serra, poiché la quantità di anidride carbonica rilasciata durante la decomposizione, sia per cause naturali che attraverso una conversione energetica, è equivalente a quella assorbita durante la crescita della biomassa. Non vi è quindi alcun contributo aggiuntivo ai livelli di CO₂ in atmosfera.

Ovviamente bisogna tener conto di tutta la filiera energetica, dalla raccolta al trasporto ed all'eventuale trasformazione di pezzatura adeguata (per esempio la cippatura), poiché in ognuno di questi processi vengono usate risorse energetiche non rinnovabili che comportano immissioni in atmosfera di gas serra. In tabella 2.3.4 sono riportati i dati relativi all'emissione di gas serra di sistemi di combustione a carbone, a biomassa e a gas naturale; da confronto emerge l'elevata sostenibilità ambientale degli impianti a biomassa.

Tab 2.3.4 Confronto emissioni tra sistema a biomassa, carbone e gas naturale (Dati D.O.E.)

Tipologia Impianto	Inquinanti (g/kWh)			
	SO _x	NO _x	CO	PM-10
Impianti a Biomassa				
Combustione di residui legnosi in caldaia	0.036	0.95	5.53	0.22
Combustione in caldaia a letto fluido	0.036	0.405	0.077	0.136
Gasificazione legno di Pioppo	0.022	0.498-0.997	0.104	0.004
Combustione rifiuti urbani	2.5	2.920	0.83	0.25
Combustione Biogas	0.354	1.025	2.7	0.135
Impianti a Carbone				
Combustione carbone bituminoso	9.162	2.63	1.224	0.235
Combustione di polverino di carbonio	6.486	3.125	0.158	0.145
Co-combustione con 15% di biomassa	5.53	2.798	0.158	0.145
Combustione a letto fluido	1.678	1.224	4.354	0.136
Impianti a gas naturale				
Motore combustione interna alternativo	0.002	3.61-17.37	1.351-15.87	0.04-0.081
Turbogas	0.004	0.78	0.181	0.04
Turbogas a ciclo combinato	0.001	0.412	0.022	0.063

2.3.4 Costruzione e gestione dell'impianto

Un impianto alimentato a biomassa rispetto a quelli alimentati con combustibili tradizionali pone una serie di problematiche che aumentano le difficoltà di gestione e costruzione aumentandone i costi.

Per prima cosa l'impianto deve sorgere al centro dell'area dove viene prodotta la biomassa, per minimizzare il costo del trasporto, l'ingombro dell'area di stoccaggio e quindi l'impatto

sull'ambiente. Inoltre lo smaltimento delle ceneri residue rappresenta un costo importante se si confronta con il costo analogo per gli impianti tradizionali.

Per esempio, per calcolare l'area del terreno da coltivare a biomassa necessaria ad un impianto a vapore cogenerativo di potenza elettrica $P(\text{MW}_e)$ si calcola prima l'energia elettrica E_{el} prodotta in un anno:

$$E_{el} = P \cdot 10^3 \cdot h \cdot 3600$$

In cui h sono le ore equivalenti di funzionamento dell'impianto in un anno. Si determina poi l'energia termica E che deve essere fornita pari a:

$$E = \frac{E_{el}}{\eta_{el}}$$

In cui η_{el} è il rendimento elettrico dell'impianto. A questo punto conoscendo il potere calorifico $H(\text{kJ/kg s.s.})$ della sostanza secca si può ricavare il consumo di biomassa:

$$m_c = \frac{E}{H} = \frac{P \cdot 10^3 \cdot h \cdot 3600}{\eta_{el} \cdot H}$$

Infine noti i valori della produttività annuale p (t s.s./ha anno) di materia vegetale secca, si deduce (Rub, 2002) la superficie di terreno necessario:

$$A = \frac{m_c}{p \cdot 10^3} (\text{ha}) = \frac{m_c}{p \cdot 10^3 \cdot 10^2} (\text{km}^2)$$

Tab. 2.3.9 Produttività coltivazioni in t/ha

Coltivazione	Produttività (t/ha)
Bosco ceduo	6-7
Robinia	10-15
Pioppo	15-20
Eucalipto	15-20
Salice	15-25
Canna	15-25

L'approvvigionamento e il trasporto della biomassa rappresentano il principale ostacolo, sia legato ad aspetti logistici che di quantità disponibili.

2.4 Parchi eolici

L'energia eolica è una delle fonti energetiche più ecologiche per eccellenza, dal momento che non produce emissioni nocive e sfrutta una materia prima rinnovabile, il vento

Le *wind farms* sono formate da una serie di rotor, alti da 30 fino a 80 metri, che producono energia sfruttando la forza del vento. I limiti di tale fonte energetica risiedono nella discontinuità di intensità

del vento stesso, nella rumorosità degli impianti che provoca problemi di inquinamento acustico, nei rischi per l'avifauna provocati dalle pale eoliche e nell'impatto visivo sul paesaggio.

Rilevazioni effettuate su 7500 stazioni meteorologiche fisse di e 500 stazioni anemometriche all'altezza di 80 metri hanno mostrato che la velocità media capace di generare energia (circa 6,9 metri al secondo) è reperibile nel 13% del pianeta per una produzione annua potenziale di 72 TW (1 TW corrisponde indicativamente alla produzione di 500 centrali nucleari).

Nel 2004 la capacità installata di energia eolica su scala mondiale (*Wind Power Monthly*) era di soli 47 GW, ovvero l'1% dell'energia utilizzata nell'intero pianeta. I dati di potenza eolica installata relativi ai principali paesi produttori sono riportati in tabella 2.4.1.

Tab. 2.4.1 Potenza installata nel mondo in Mw

	Mw	%
Germania	16.629	35,1
Spagna	8.263	17,5
USA	6.740	14,2
Danimarca	3.117	6,6
India	3.000	6,3
Italia	1.125	2,4
Olanda	1.078	2,3
Gran Bretagna	888	1,9
Giappone	874	1,8
Cina	764	1,6
Totale Parziale	42.478	89,8
Totale Resto del Mondo	4.839	10,2
Totale Mondiale	47.317	100,0

In Italia alcune soluzioni alle problematiche connesse ai suddetti limiti dell'energia eolica sono state delineate nell'accordo raggiunto tra WWF e Legambiente da una parte e ANEV dall'altra (Associazione produttori di energia eolica, settembre 2002). L'accordo si propone di ridurre al minimo l'impatto ambientale e paesistico dei parchi eolici, adottando soluzioni quali ad esempio il posizionamento della cabina di trasformazione e delle condotte elettriche sotto terra, rendendo invisibili i blocchi di fondazione delle torri, e l'utilizzazione di strade esistenti per il cantiere.

Su questa strada si pone anche la regione Marche, che è in procinto di dotarsi di impianti eolici per una produttività di 160 MW.

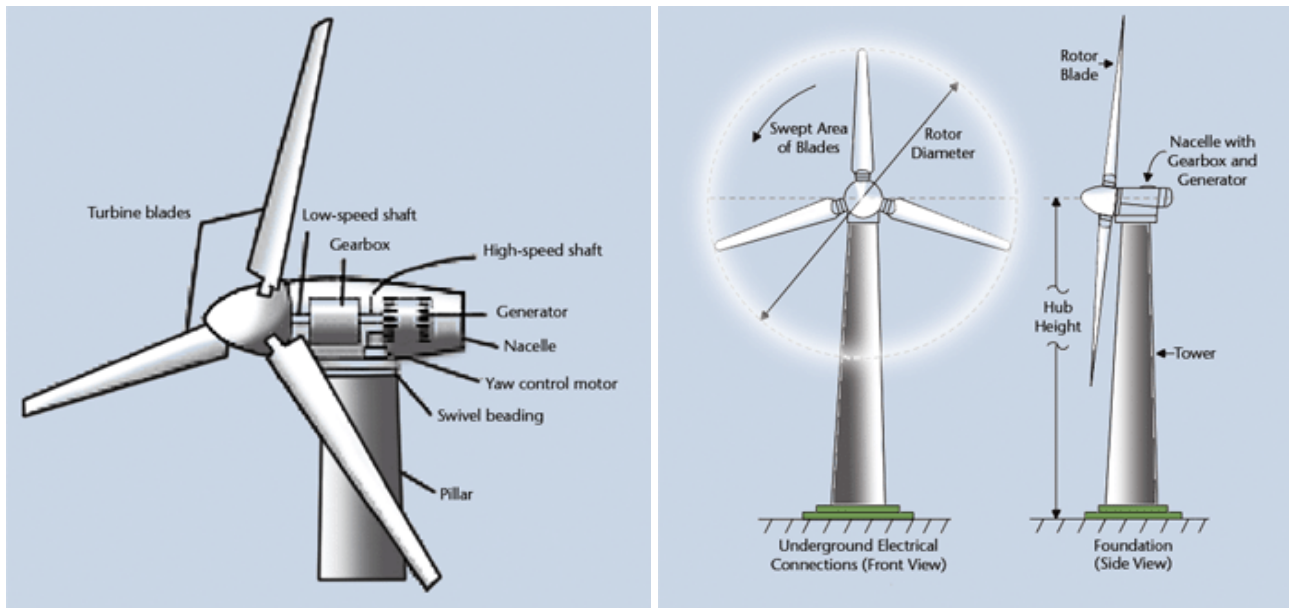


Fig. 2.4.1 Schema funzionamento aerogeneratore.

Un aerogeneratore è costituito dalle seguenti componenti (fig. 2.4.1):

- pale del rotore;
- mozzo;
- navicella;
- sistema di orientamento;
- asse di trasmissione;
- cuscinetti
- moltiplicatore di giri (no sincro multipolare);
- generatore;
- trasformatore;
- sistema di controllo;
- torre;
- fondazioni;
- cablaggi.

2.4.1 Analisi fisica della risorsa eolica

Il vento è una massa d'aria in movimento dovuto a variazioni bariche causate dall'irraggiamento solare. Grandi masse d'aria vengono riscaldate e subendo variazioni di densità attuano movimenti ascendenti e discendenti verso gli strati dell'atmosfera. Per i venti provenienti dai poli si aggiunge l'effetto causato dalla rotazione della terra, chiamato forza di Coriolis, che determina una deviazione verso destra nell'emisfero boreale e verso sinistra in quello australe, che ha come conseguenza i cicloni (con verso di rotazione orario) e anticicloni (con verso di rotazione antiorario). Un'ulteriore forza che entra in gioco nella formazione dei venti principali d'alta quota è la deviazione occidentale, dovuta alla differente velocità della superficie terrestre crescente partendo dai poli dove è nulla fino all'equatore dove è massima. Altri fattori che determinano la formazione di venti sono gli scambi termici che avvengono a ridosso delle zone costiere a causa dell'inerzia termica del mare, maggiore rispetto a quella della terra.

Tali condizioni al contorno che generano le correnti d'aria sfruttabili da sistemi eolici sono influenzate direttamente dal clima del pianeta e dalle variazioni che esso subisce nei secoli.

Il vento come massa m in movimento ad una determinata velocità v genera l'energia:

$$E = \frac{1}{2}mv^2$$

Considerando poi il passaggio del flusso attraverso la sezione di un rotore di un impianto eolico, la massa in gioco ha un volume cilindrico di area A e nell'unità di tempo passa un flusso d'aria di lunghezza h .

L'energia associata al movimento del volume Ah di aria con densità ρ è:

$$E = \frac{1}{2}Ah\rho v^2$$

E siccome la potenza P è la quantità di energia nel tempo diremo che:

$$P = \frac{dE}{dt} = \frac{1}{2}A \frac{dh}{dt} \rho v^2 = \frac{1}{2}A\rho v^3$$

Al fine di proporre un valore di grandezza della potenza in gioco si considerano alcuni valori caratteristici esemplificativi:

- diametro rotore 52 metri, Area $A=2123 \text{ (m}^2\text{)}$;
- densità dell'aria $\rho=1,225 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ a livello del mare a 15 (°C);
- velocità del vento $v=10 \text{ (m/s)}$.

$$P = \frac{1}{2} \cdot 2,123(\text{m}^2) \cdot 1,225(\text{kg} / \text{m}^3) \cdot 10(\text{m} / \text{s})^3 = 1300776(\text{W})$$

La potenza risulta quindi essere proporzionale alla velocità del vento al cubo, determinando che a piccoli aumenti di velocità media si determinano grandi aumenti di potenza.

Un'altra caratteristica importante del vento è la sua difformità di distribuzione della velocità.

A quote prossime al suolo la velocità tende a diminuire a causa della presenza di elementi antropici e naturali che rallentano le masse d'aria causando turbolenze locali.

Questi effetti hanno un ruolo fondamentale durante la vita degli impianti eolici in quanto il passaggio dalla zona bassa a minore velocità a quella superiore a maggiore velocità la pala riceve una spinta ciclica che ne sollecita la struttura e che può causare cedimenti.

La turbolenza può essere studiata utilizzando strumenti che utilizzano l'effetto Doppler e che riproducono le traiettorie delle particelle di atmosfera oppure più semplicemente misurando la deviazione standard dell'intensità: si considera come turbolenza il rapporto di quest'ultima con la velocità media nei 10 minuti:

$$t = \frac{\sigma}{\bar{v}}$$

Considerando valori medi tipici si ha: $t = \frac{0,3(\text{m} / \text{s})}{6(\text{m} / \text{s})} = 5\%$

Questo valore viene utilizzato per determinare la classe di macchina da installare e per prevedere il posizionamento di altre che potrebbero causare ulteriore turbolenza.

E' evidente che per poter arrivare alla scelta della tipologia di macchina da installare è necessaria una stima a priori della risorsa disponibile. Questa analisi viene condotta principalmente utilizzando due metodi: il primo tiene conto delle misurazioni fatte nel lungo termine e successivamente elaborate attraverso modelli come il Wind Atlas del Risø o Cise, il secondo attraverso una campagna anemometrica specifica per l'area di interesse. Oggi molte società anche operanti sul territorio forniscono questo tipo di servizio montando la stazione di misura e provvedendo al monitoraggio per un corretto funzionamento e allo scarico dati attraverso la rimozione fisica della memoria di registrazione o attraverso connessione GPRS con passo a 10 minuti.

La curva di prestazione degli aerogeneratori viene certificata dalla casa produttrice in relazione all'altezza del mozzo della macchina e alla velocità del vento.

La misura effettuata all'altezza effettiva del mozzo, che è mediamente circa 50 metri, non può essere eseguita per il fatto che richiederebbe un'installazione molto complessa dal punto di vista strutturale e perciò dispendiosa. La struttura dell'anemometro deve essere al contrario di facile montaggio in quanto si tratta di una installazione temporanea soggetta solamente a comunicazione di inizio attività all'Amministrazione comunale del territorio in esame.

Per questa ragione in genere vengono posizionati su un unico traliccio due anemometri, del tipo a coppette, posti a due altezze diverse, 10 e 20 metri, al fine di stimare la curva di aumento dell'intensità del vento col crescere dell'altezza. Inoltre vengono installati anche un misuratore di direzione e un termometro per la stima della densità dell'aria.

La durata della misura deve essere tale da eliminare i principali effetti di variabilità della risorsa legata alla stagionalità. Per questo motivo in genere la campagna viene protratta per almeno un anno o più visto il fatto che possono esserci variazioni significative anche di anno in anno.

Inoltre è utile verificare l'esistenza di eventuali altre stazioni preesistenti che abbiano caratteristiche simili per conformazione topografica e frequenza con i cui dati è possibile integrare le analisi fatte restringendo l'incertezza della misura.

Dall'analisi delle registrazioni devono emergere i valori della ventosità media e la funzione di probabilità f per ogni settore di direzione modellizzata con distribuzione di Weibull al fine di prevedere la ventosità in un'altra posizione e quota.

$$f = \frac{k}{A} \cdot \left(\frac{v}{A} \right)^{k-1} \cdot e^{\left(-\frac{v}{A} \right)^k}$$

In cui A è chiamato fattore di scala e si ottiene direttamente dalla velocità media, k è il fattore di forma e v la velocità del vento: per $k=2$ la funzione si semplifica diventando una distribuzione di Rayleigh.

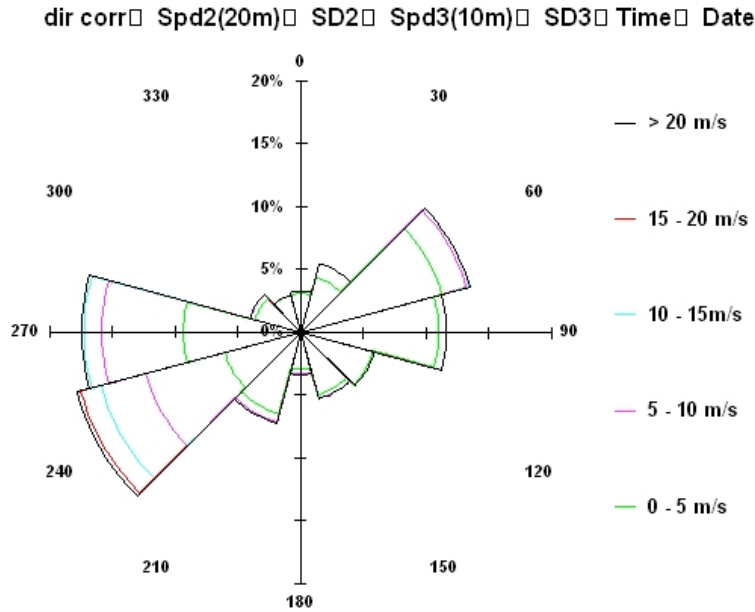


Fig. 2.4.2 Distribuzione della direzione ed intensità del vento.

In fig 2.4.2, si riporta la schematica rappresentazione del grafico di distribuzione della direzione delle correnti dominanti e la loro intensità media; da questa analisi è possibile definire lo sviluppo che avrà il campo eolico che chiaramente sarà perpendicolare alla direzione dei venti misurati che hanno maggiore velocità e che si manifestano con più facilità.

Un fattore non trascurabile nella valutazione della velocità media del vento è la rugosità del terreno con la quale si intende la capacità degli elementi orografici presenti nel rallentare i flussi di corrente. Con l'aumento di quota tale fattore ha influenza minore permettendo una progressiva accelerazione delle velocità medie.

I modelli matematici usati sono di tipo logaritmico:

$$v_h = v_{rif} \cdot \frac{\ln \frac{h}{z_0}}{\ln \frac{h_{rif}}{z_0}}$$

dove v_h è la velocità del vento all'altezza h , v_{rif} è la velocità del vento all'altezza h_{rif} , z_0 è la rugosità della superficie a monte e a valle del punto di misura. In tabella 2.4.2 sono riportati i valori della rugosità del terreno di diversi tipi di ambiti territoriali.

Tab 2.4.2 Scabrezza della superficie del suolo. (Coiante, 2004)

<i>Tipo di Superficie</i>	z_0
<i>Città</i>	<i>1</i>
<i>Bosco</i>	<i>0,8</i>
<i>Costruzione in Campagna</i>	<i>0,3</i>
<i>Alberi e siepi</i>	<i>0,2</i>
<i>Zone coltivate</i>	<i>0,03-0,1</i>
<i>Aeroporto, prato</i>	<i>0,01</i>
<i>Terra nuda</i>	<i>0,005</i>
<i>Superficie nevosa</i>	<i>0,001</i>
<i>Superficie sabbiosa</i>	<i>0,0003</i>
<i>Mare, lago</i>	<i>0,0001</i>

Un altro modo di calcolare l'incremento della velocità con l'altezza è tramite la curva esponenziale:

$$v_h = v_{rif} \cdot \left(\frac{h}{h_{rif}} \right)^\alpha \quad \text{con} \quad \alpha = \frac{1}{\ln \frac{h}{z_0}}$$

Le modellazioni sopra descritte attualmente sono quelle più comunemente usate anche se non considerano la variazione del profilo al variare della velocità, e sono valide solamente nel primo strato del fluido in esame (Prandtl).

Micrositing

Subito a valle della fase di monitoraggio di una zona ritenuta idonea all'installazione di parchi eolici, attraverso l'uso di uno o più anemometri certificati, si passa all'analisi dei risultati, validandoli applicando per esempio la scala di Griggs-Putnam basata sulla forma delle conifere la quale darebbe, teoricamente, informazioni sull'intensità del vento (fig.2.4.3).






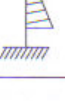
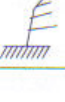


Scala Griggs-Putnam della deformazione delle conifere in funzione del vento medio		Scala Beaufort del vento istantaneo e reazioni sull'ambiente	
 Direzione vento prevalente			
	0 - Nessuna deformazione 3 + 4 m/s	0 + 3,3 m/s	Calm o leggera brezza
	I - Direzionalità foglie 3 + 4 m/s	3,4 + 5,4 m/s	Movimento delle foglie e di rami sottili
	II - Leggera direzionalità rami 4 + 5 m/s	5,5 + 7,9 m/s	Movimento di rami; si alzano polvere e carta
	III - Direzionalità rami media 5 + 6 m/s	8,0 + 10,7 m/s	Piccoli alberi oscillano; il mare inizia a schiumeggiare
	IV - Direzionalità rami forte 6 + 7 m/s	10,8 + 13,8 m/s	Aste alte oscillano; cavi tesi fischiano
	V - Piega cima e direzionalità rami 7 + 8 m/s	13,9 + 17,1 m/s	Alberi ondeggiando; difficoltà di avanzamento
	VI - Direzionalità rami e inclinazione tronco 8 + 9 m/s	17,2 + 20,7 m/s	Il vento rompe i rami
	VII - Appiattimento 10 m/s	20,8 + 24,4 m/s	Leggeri danni alle case
		24,5 + 28,4 m/s	Alberi sradicati Danni alle case
		28,5 + 32,6 m/s	Tempesta
		32,7 + 56 m/s	Uragano

Fig. 2.4.3 Scala di Griggs-Putnam.

Questa fase prende il nome di *micrositing* che ha come scopo il corretto posizionamento degli aerogeneratori, attraverso l'interpolazione tra le varie misurazioni, il calcolo della conservazione della massa, l'impostazione delle equazioni di Navier-Stokes non linearizzate e il calcolo agli elementi finiti.

Attualmente in commercio esistono vari software (come per esempio WASP, Windfarm, Windfarmer, Windpro, Windsim) che utilizzano questi modelli o combinazioni di essi. Questi prodotti tengono conto di vari fattori al fine di determinare la produttività teorica di un sito, per esempio l'orografia, la rugosità del terreno e le turbolenze generate da vicine installazioni, le quali potrebbero compromettere non solo la resa in termini energetici ma anche la vita utile delle macchine.

Attualmente da alcuni centri di ricerca sono stati elaborati modelli a macroscale per l'individuazione di aree particolarmente votate all'installazione di parchi eolici (per esempio Atlante Eolico Italiano, CESI, novembre 2002): i risultati ottenuti individuano zone potenzialmente idonee previa verifica in locale attraverso misurazioni mirate.

Gli effetti locali sono così vari ed importanti da determinare quasi completamente la ventosità del sito. Risulta quindi indispensabile da parte di enti privati interessati alla messa in produzione di queste strutture investire in un'accurata indagine locale anche per certificare verso istituti di credito l'interesse nell'investimento.

2.4.2 La ricerca tecnologica per lo sfruttamento dell'energia eolica

Per riuscire a definire un quadro dello stato della ricerca tecnologica per ciò che concerne la risorsa eolica bisogna analizzare i limiti all'applicabilità di questi sistemi.

Tali limiti sono il costo, la discontinuità della produzione e l'impatto paesaggistico-ambientale.

Il problema del costo è superabile grazie alla messa a sistema di più partner economicamente impegnati nella realizzazione del parco; per esempio istituti di credito, società di fornitura delle apparecchiature, proprietari terrieri, amministrazioni locali, società pubblico-private impegnate nella gestione di servizi.

Alla discontinuità della risorsa eolica si interviene limitando l'immissione in rete, la quale viene gestita, in genere, dall'ente gestore nazionale.

I possibili limiti dell'impianto dovuti all'impatto paesaggistico possono essere superati con studi che prevadano opportune soluzioni di mitigazione visiva; inoltre sempre più si sta cercando di definire linee guida, da parte degli enti comunali, provinciali e regionali per la mitigazione degli impatti come l'utilizzo di elicotteri per limitare il trasporto terrestre nelle fasi di cantiere e l'interramento dei cavidotti e dei plinti.

La riduzione del costo dell'energia eolica è un problema relativo alla ventosità del sito. I siti con ventosità alte, sfruttati nei primi anni, producono energia ad un prezzo più basso di alcune fonti fossili come il gas naturale. La ricerca di riduzione del costo riguarda perciò i nuovi siti in sviluppo, che non hanno risorse eoliche sufficienti a produrre a costo concorrenziale. A causa di ciò molte ricerche si rivolgono all'aumento di produzione della singola macchina. Ovvero agendo sull'aumento della potenza della macchina, si riduce il peso percentuale dei costi fissi e con ciò il costo di produzione dell'energia stessa. Tra i costi fissi si trovano quelli inerenti l'accantieramento, la sicurezza, le opere accessorie, la connessione alla rete e le manutenzioni ordinarie.

Tra il 1994 e il 2005 la potenza della turbina commerciale più usata è passato da 300 kW (Riva Calzoni), a 2.000 kW (Vestas V80, figura 2.4.4).



Fig.2.4.4 Vestas V80

Al momento la turbina commerciale più grande sul mercato è della Enercon e produce a potenza nominale 6.000 kW.

Un altro aspetto per migliorare il rendimento delle pale è correlato al rumore che esse generano, fonte di dissipazione di energia e origine di costi di manutenzione dovuti all'usura delle parti che entrano in risonanza.

Un importante limite per la diffusione dell'energia eolica è costituito dalla discontinuità della produzione.. Per ovviare a questo si stanno studiando metodi e programmi per la previsione a breve della produzione: poter prevedere la produzione di energia del giorno seguente consentirebbe l'aumento della percentuale di energia immessa in rete con una conseguente stabilità della stessa.

Una possibilità per poter ovviare al problema della discontinuità potrebbe essere rappresentato dalla creazione di bacini idrici di stoccaggio alimentati da condotte forzate messe in funzione da parchi eolici: una volta stoccata l'acqua la si userebbe per la produzione di energia idroelettrica. Infatti nell'elevazione di acqua il processo non viene influenzato dalla discontinuità della fonte di energia.

Vi sono inoltre usi dell'energia eolica combinati con gli utilizzatori per i quali viene progettato e dimensionato l'impianto. I mini-impianti isolati, ad esempio, evitano costosi collegamenti con reti lontane. Un altro caso è quello dissalazione con membrane semipermeabili, in cui si possono usare fonti discontinue.

2.4.2 Principio fisico

Teoria di Betz

La prima conversione di energia che avviene in un generatore eolico è quella da energia aerodinamica ad energia meccanica. Il rendimento di questa conversione è limitato.

Tale motivazione è espressa dal teorema di Betz (A. Betz, 1920) valido a prescindere dalla forma del generatore eolico.

Si consideri un flusso di aria attraverso il rotore. L'aria avrà a monte una velocità alta (v_0) e una sezione di passaggio stretta (A_0). Avvicinandosi al rotore cresce la pressione (p_1) e l'area A_1 di passaggio e diminuisce la velocità (v_1). Sorpassato il rotore vi è un brusco salto di pressione (p_2), e la velocità (v_2) decresce ancora. Allontanandosi dal rotore la pressione riprende valori simili (p_3) a quelli atmosferici mentre la velocità (v_3) raggiunge un valore più basso perché parte dell'energia cinetica è stata intercettata dal rotore.

Si considera l'aria come un fluido incompressibile ($p = \text{cost.}$) e si ipotizza che il flusso sia stazionario e vi sia assenza di moti turbolenti e di attrito.

Si pone che la velocità finale è una frazione f della velocità iniziale, $v_3 = fv_0$.

Tra l'inizio e la fine del tubo di flusso vi è una variazione della quantità di moto data dal prodotto tra il flusso di massa ($\rho A v$, in corrispondenza della pala, nel punto 1, perché costante in tutte le

sezioni) e la differenza di velocità tra ingresso e uscita $\dot{m} \cdot \Delta v = \rho A_1 v_1 \cdot (v_0 - v_3)$, avendo indicato con \dot{m} il flusso di massa.

La variazione di quantità di moto corrisponde alla forza estratta dall'aria. Si dimostra che la velocità in v_1 (come in v_2 , sono circa uguali) è la media tra la v_0 e la v_3 , e cioè essendo $v_1 = \frac{1}{2}v_0(1+f)$,

possiamo dire che la forza corrispondente a questa variazione è $F = \rho \cdot A_1 \cdot \frac{1}{2}v_0(1+f) \cdot (v_0 - fv_0)$ a cui corrisponde una potenza

$$P = Fv_1 = \frac{1}{2} \rho A_1 v_0^3 \cdot \frac{1}{2} (1 - f^2) \cdot (1 + f)$$

dove:

$$\frac{1}{2} \rho A_1 v_0^3 = \text{potenza del vento}$$

$$\frac{1}{2} (1 - f^2) \cdot (1 + f) = \text{frazione estratta}$$

La frazione estratta corrisponde al rendimento del rotore, mentre la potenza del vento è la potenza totale che passerebbe nell'area del rotore se non ci fosse la turbina e la deformazione del flusso. Eseguendo la derivata del rendimento in funzione di f si calcola che la frazione di potenza estratta dal vento è massima per $f = 1/3$. Azzerando la derivata, o esprimendo graficamente il rendimento, si può vedere che a questo corrisponde

$$\eta_{\max} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{3^2}\right) \cdot \left(1 + \frac{1}{3}\right) = \frac{16}{27} \cong 59,3\%$$

Il massimo rendimento aerodinamico ottenibile in un generatore eolico è del 59,3%, inoltre per avere η_{\max} la velocità di uscita dal rotore dovrà essere un terzo di quella in entrata.

Portanza

Un modo di trasformare l'energia del vento in energia meccanica è sfruttare il principio aerodinamico della portanza. Un flusso d'aria che incontra un ostacolo di forma opportuna si suddivide in due flussi asimmetrici e poi si ricongiunge a valle dell'ostacolo generando una forza normale alla sua direzione. Prendendo ad esempio una forma simile alla sezione dell'ala di un aereo, si sa che il flusso d'aria che passa sopra l'ala deve accelerare il suo moto per oltrepassare l'ostacolo nello stesso tempo del flusso sotto l'ala. Questa accelerazione crea, per il principio di Bernoulli, una caduta di pressione rispetto alla parte sotto l'ala. Questa differenza di pressione è responsabile della forza di sostentamento, detta portanza (figura 2.4.5).

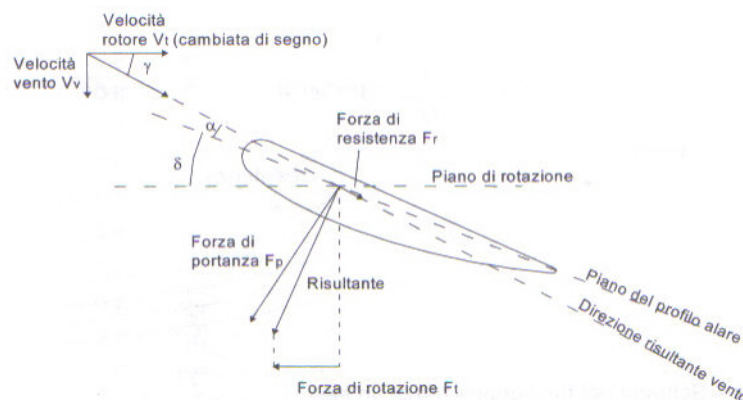


Fig. 2.4.5 Schema di funzionamento di un profilo alare.

La forma che assume il flusso d'aria attorno all'ala ha un ruolo fondamentale nella portanza. Se infatti si inclina l'ala aumentando l'angolo α fino ad un certo livello, la portanza aumenta. Se si

supera questo livello vi è un distacco del flusso nella parte finale dell'ala, con innesco di vortici e conseguente riduzione della portanza. Oltre un certo angolo la portanza si annulla e l'ala è completamente in stallo.

Secondo Bernoulli la portanza F_p è proporzionale alla forza del vento secondo la relazione:

$$F_p = c_p \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v_v^2$$

nella quale

A = Superficie profilo alare

v_v = Velocità del vento

c_p = coefficiente di portanza

$$\frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v_v^2 = \text{forza del vento}$$

Oltre alla portanza il vento sull'ala produce anche una resistenza F_r espressa da

$$F_r = c_r \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot l \cdot t \cdot v_v^2$$

c_r = coefficiente di resistenza

$$\frac{1}{2} \rho \cdot l \cdot t \cdot v_v^2 = \text{forza del vento}$$

I due parametri c_p e c_r dipendono dalla forma dell'ala e dalla sua inclinazione rispetto alla direzione del vento. Le forme possibili sono state studiate e normate da varie organizzazioni e si trovano in letteratura (per le turbine Vestas V80 vengono adottate varie forme in funzione della distanza dal mozzo).

Applicando questo modello allo schema di un rotore è possibile calcolare il momento dato dal vento al rotore. Come prima cosa si deve calcolare la componente delle forze nella direzione della rotazione. Con il movimento del rotore la direzione del flusso di aria rispetto alla pala cambia, e il vento che va considerato è il vento apparente, somma del vento reale e del vento dovuto al movimento del rotore.

Per calcolare il momento, in modo immediato, è necessario riferirsi al calcolo della potenza P del rotore:

$$P = \eta \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot A_r \cdot v_v^3, \text{ da cui}$$

η = rendimento aerodinamico

$$M = \frac{P \cdot r}{v_p} = \eta \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot \pi \frac{r^3}{v_p} v_v^3$$

v_v è la velocità del vento, r il raggio del rotore, e v_p la velocità periferica del rotore, ovvero la velocità della punta della pala.

Resistenza

Un corpo inserito in una corrente d'aria è soggetto alla forza di spinta da parte del vento, già descritta precedentemente, che si chiama forza di resistenza. Alcuni generatori eolici sfruttano questo principio per trasformare l'energia aerodinamica in energia meccanica.

Utilizzando la formula della forza resistente, si può calcolare la potenza data ad un corpo in movimento sospinto dalla forza di resistenza ricavando:

$$P = F_r \cdot v_c = c_r \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot A_c \cdot (v_v - v_c)^2 \cdot v_c$$

v_c è la velocità del corpo in movimento, v_v è la velocità del vento e A_c è la superficie ottenuta dalla proiezione dei contorni del corpo su un piano normale alla velocità del vento. Con uno sviluppo simile a quello fatto per la teoria di Betz si può dire che se $v_c = f v_v$ la potenza si può scrivere:

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A_c \cdot v_v^3 \cdot c_r (1 - f)^2 f$$

$$\frac{1}{2} \rho \cdot A_c \cdot v_v^3 = \text{potenza del vento}$$

$$c_r (1 - f)^2 f = \text{frazione estratta}$$

Essendo valido il teorema di Betz la massima potenza estratta sarà per $f = 1/3$ cioè:

$$\eta_{\max} = c_r \left(1 - \frac{1}{3}\right)^2 \frac{1}{3} = c_r \frac{4}{27} \cong 20\%$$

Visto che i valori massimi di c_r sono attorno a 1,35.

Il valore del massimo rendimento estraibile col principio della resistenza è perciò molto più basso del massimo teorico predetto da Betz (59,3%).

Conversione aerodinamica-meccanica, il rotore

Durante l'esercizio delle macchine eoliche possono sopraggiungere condizioni per le quali risulta più vantaggioso limitare la potenza prodotta. Questa operazione risulta necessaria al fine di impedire il danneggiamento degli elementi strutturali (che possono provocare danni e collassi strutturali come quelli illustrati nelle figure 2.4.6 e 2.4.7) e quindi i carichi dinamici sulla macchina stessa.

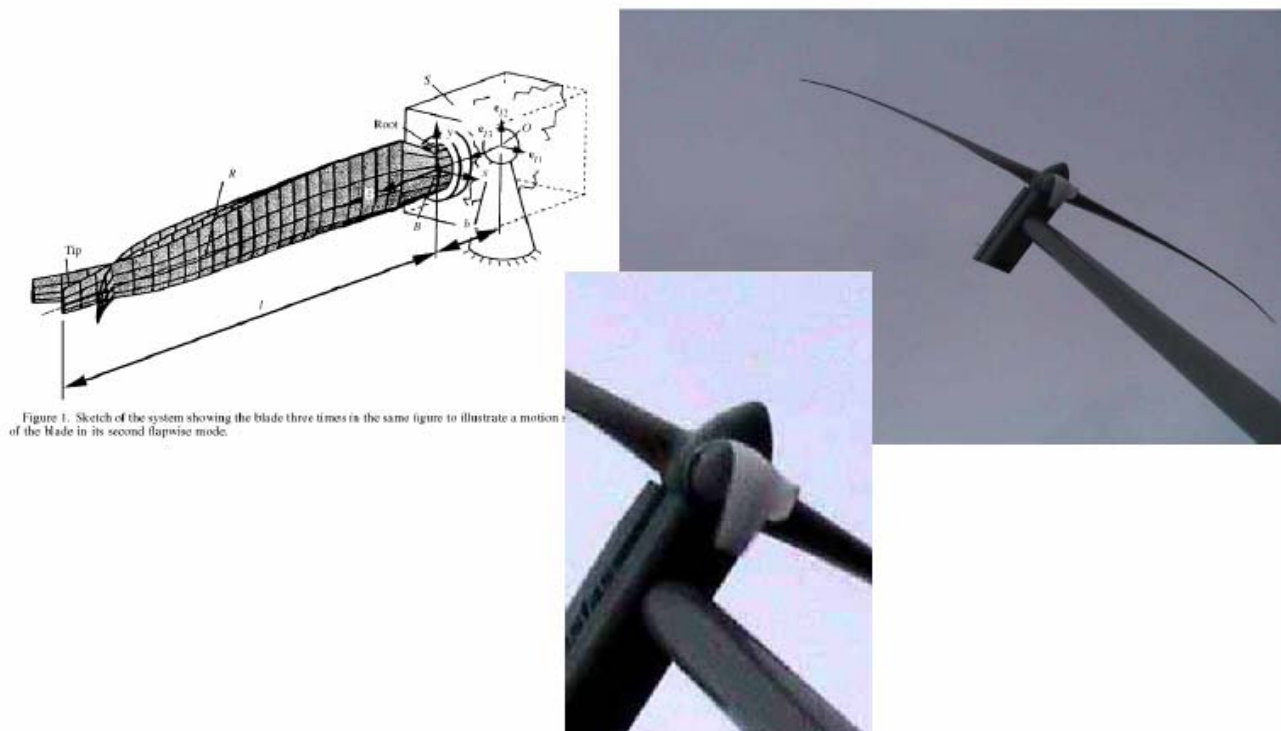


Fig. 2.4.6 Grandi deformazioni a seguito di forti spinte dinamiche.



Fig. 2.4.7 Esempi di collassi strutturali dovuti alle spinte attive e a fenomeni di risonanza tra le componenti delle macchine.

I principi fisici sopra descritti vengono applicati in diverse tecnologie, le più comuni sono i rotori ad asse orizzontale dove la potenza viene regolata tramite l'angolo di attacco della pala (Pitch) o dallo stallo della pala (Stall).

Questi principi vengono usati in due maniere diverse a seconda del tipo di regolazione utilizzato dal generatore. Nella regolazione per angolo di attacco, la pala può ruotare attorno al suo asse, in maniera attiva attraverso attuatori idraulici, e così si può variare l'angolo di attacco α rispetto al vento in funzione della velocità del rotore e della velocità del vento. Con la variazione dell'angolo di attacco variano la portanza e il momento prodotto dal rotore.

Nella regolazione per stallo la pala non ruota rispetto al suo asse, e si conforma il rotore in fase di progetto in modo tale da non superare mai una certa potenza. L'aumento della velocità del vento cambia l'inclinazione del vento rispetto la pala. Con venti deboli la variazione di questa inclinazione regola la coppia prodotta dal rotore. Oltre un certo livello di vento una parte crescente della pala entra in stallo e si riduce l'efficienza e conseguentemente la portanza e la coppia motrice.

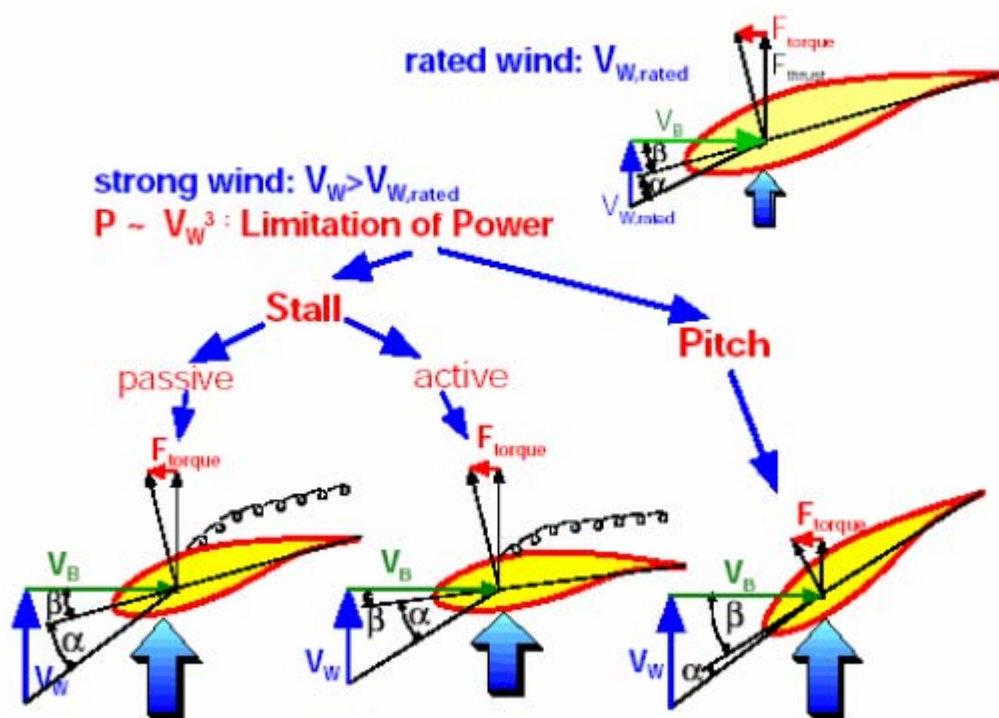


Fig. 2.4.8 Movimenti, consentiti dai servomeccanismi di controllo, lungo l'asse perpendicolare al mozzo, in maniera da variare l'angolo di "attacco" della pala alla vena fluida.

La regolazione pitch, anche se più costosa, ha molti vantaggi. La pala si mette sempre in posizione ottimale per sfruttare la velocità del vento in funzione del momento che può sopportare il generatore elettrico. Questo fa sì che la potenza prodotta superata la velocità nominale del vento sia costante. In questo modo si sfruttano appieno le capacità di produzione del generatore.

Inoltre risulta possibile regolare la velocità del rotore impedendo in condizioni di vento molto forte l'usura e i danni strutturali ai quali la macchina potrebbe essere sottoposta (messa a bandiera dell'ala e arresto della rotazione).

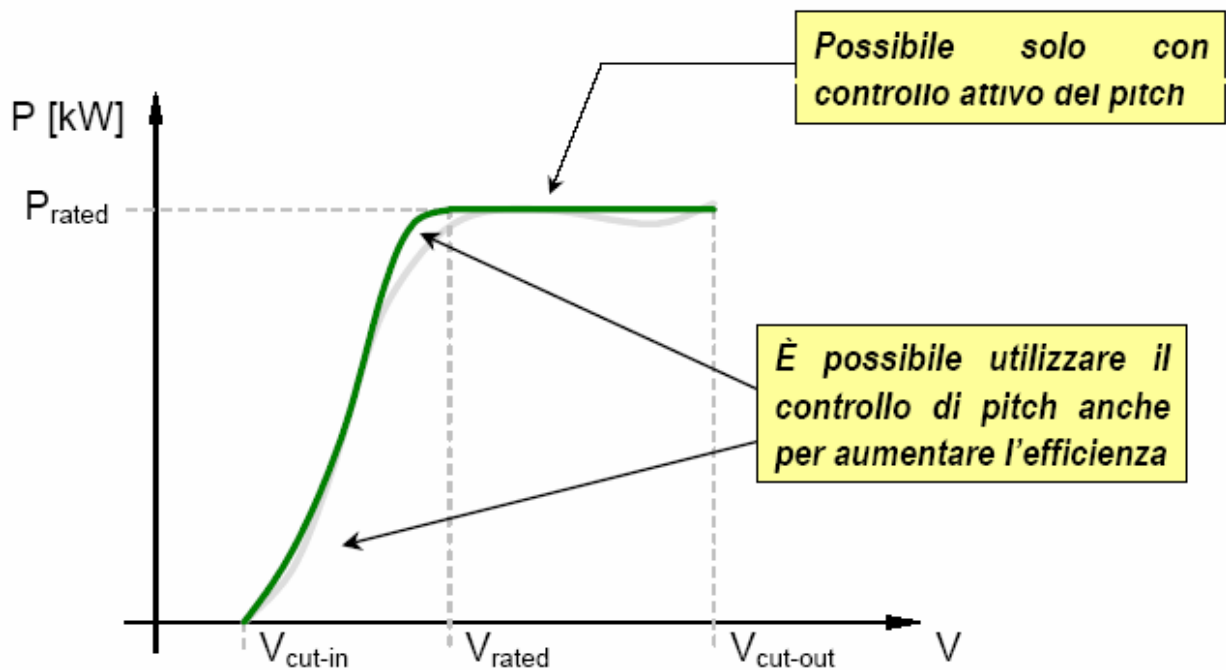


Fig.2.4.9 Curva di Potenza per Turbina a Controllo di Pitch che presenta una zona a potenza costante.

Nella regolazione per stallo il profilo della pala è l'elemento che determina quali saranno le condizioni di stallo, da ciò si desume il comportamento del rotore e la curva di potenza della macchina. Quando la pala è in stallo, la potenza del rotore non è prevedibile in maniera precisa, perché tale condizione è mutevole. I test sulle curve di potenza di queste macchine mostrano una forte dispersione delle misure di potenza.

In condizioni di vento debole il rotore a regolazione "stall" deve essere avviato per raggiungere una velocità tale da dare portanza alla pala. Nel caso di distacco dalla rete interrompendo il carico sul generatore, il rotore tenderebbe velocemente ad aumentare di giri in maniera incontrollata, per questa ragione in questi casi si prevedono dei freni aerodinamici in fondo alla pala che rallentano il rotore.

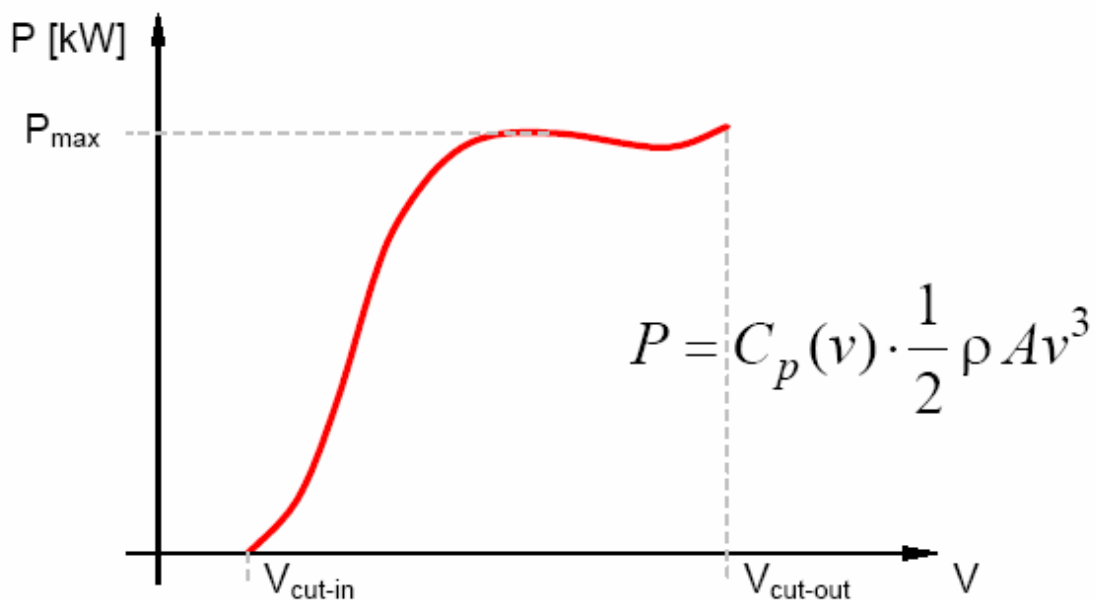


Fig. 2.4.10 Curva di Potenza per Turbina a Controllo di Stallo

Questa tecnologia in passato è stata preferita perché di più semplice realizzazione e di minor costo. Con l'avvento di macchine di grosse dimensioni il risparmio dovuto alla mancanza di regolazione ha perso peso, e questa tecnologia è rimasta sulle piccole macchine.

Altro tipo di regolazione, attualmente in uso solamente dal Gamma 60 della Aeritalia-West, è la rotazione della navicella, ovvero la possibilità di avere il rotore sempre perpendicolare alla direzione del vento.

2.4.4 Conversione meccanico-elettrica: il generatore.

La seconda conversione di energia che avviene nelle macchine eoliche è quella da energia meccanica a energia elettrica. Il meccanismo principale è il generatore e sfrutta il principio dell'induzione elettromagnetica, secondo cui muovendo un filo elettrico all'interno di un campo elettromagnetico si crea nel filo una tensione, e se è presente un utilizzatore, una corrente elettrica.

Le macchine elettriche a cui appartengono i generatori e i motori possono creare e utilizzare energia elettrica in forme diverse:

- corrente alternata (ca)
- corrente continua (cc)
- corrente a impulsi
- corrente trifase

Nella generazione di energia vengono usate per lo più macchine in corrente trifase (Tensione 380 volt, Frequenza 50 hz, in Europa) la quale può essere facilmente trasformata nella corrente alternata che si utilizza nelle utenze domestiche (Tensione 230 volt, Frequenza 50 hz, in Europa).

Il magnete è il rotore della macchina elettrica, ed è circondato dallo statore. Il flusso magnetico creato dal rotore si richiude attraverso il materiale ferromagnetico dello statore. Se si mette in rotazione il rotore questo flusso varia e alla variazione corrisponde una tensione indotta ai capi della spira.

Questa, avvolta attorno allo statore, registra la variazione di campo magnetico al suo interno. In particolare la legge che ne descrive il comportamento è :

$$V = N \frac{d\phi}{dt}$$

dove N è il numero delle spire e ϕ il flusso magnetico. Se la rotazione del magnete nel tempo ha velocità di rotazione costante, la legge che descrive il flusso intercettato dallo statore avrà legge sinusoidale e quindi nella spira si genererà una corrente alternata.

Se poi lo statore ha due coppie di poli, il flusso varia due volte al giro. In questo caso la formula della tensione indotta per un flusso massimo ϕ' con fase ψ e per una velocità ω costante del rotore e p coppie di poli dello statore sarà:

$$V = N \frac{d(\phi' \sin(p\omega t + \psi))}{dt} = N \cdot \phi' p \omega \cos(p\omega t + \psi)$$

Cioè con una tensione alternata con frequenza $f = p\omega$ da cui:

$$\omega = \frac{f}{p}, \text{ con numeri tipici } \omega = \frac{50[Hz]}{2} = 25 \frac{\text{giri}}{s} = 1.500RPM$$

La velocità di rotazione che deve avere un generatore a due coppie di poli per generare corrente per la rete europea è 1.500 giri al minuto.

Il semplice generatore descritto potrebbe funzionare anche come motore se venisse messa ai morsetti dello statore una fonte di energia elettrica alternata. La invertibilità dell'uso è una caratteristica comune nelle macchine elettriche.

I generatori si dividono in due classi differenziate dalla tecnologia del rotore, asincroni e sincroni.

2.4.5 Il generatore sincrono.

Gran parte dell'elettricità tradizionale viene prodotta con generatori sincroni. In questa tecnologia il campo magnetico rotante e il rotore girano alla stessa velocità. Il rotore genera un campo magnetico grazie alla struttura a pacchi di lamierini ferromagnetici e agli avvolgimenti in rame per la generazione del campo. Gli avvolgimenti vengono alimentati in corrente continua proveniente dall'esterno della macchina grazie a contatti striscianti.

Tra il campo magnetico del rotore e il campo magnetico rotante vi è un angolo di sfasamento.

Se la macchina funziona come generatore il rotore traina il campo magnetico rotante dello statore ed è perciò in anticipo, se funziona come motore è il campo magnetico rotante dello statore che traina il rotore ed è perciò in ritardo. La potenza generata dipende da questo angolo e può arrivare fino ad un valore massimo oltre il quale il campo magnetico rotante non è più in grado di tenere agganciato il rotore.

Il rendimento del generatore sincrono dipende dall'angolo di sfasamento. Il principale limite del generatore sincrono nelle applicazioni eoliche è la difficoltà nel regolare il numero di giri senza cambiare la frequenza della corrente prodotta.

Inoltre un altro punto a sfavore per questo tipo di macchina è che per essere avviato il rotore deve essere portato vicino alla velocità di rotazione. In caso contrario si possono creare forti correnti di compensazione con un carico inaccettabile sulla rete e sugli avvolgimenti con conseguente rischio di danni.

2.4.6 Il generatore asincrono.

Nel caso di generatore asincrono rotore e campo magnetico rotante non girano alla stessa velocità. Il generatore asincrono è composto da uno statore simile a quello del generatore sincrono, mentre il rotore può essere formato da avvolgimenti, oppure può essere formato da barre di conduttore collegate da anelli (a “gabbia di scoiattolo”). In questa tecnologia la rotazione della gabbia in presenza del campo magnetico statorico genera delle correnti nelle barre. Queste a loro volta generano il campo magnetico rotorico.

Quando il rotore è fermo si immette una corrente nello statore. Nelle barre cortocircuitate si genera una corrente con la stessa frequenza del campo magnetico rotante. Questa corrente crea a sua volta il campo magnetico del rotore che tende ad inseguire quello dello statore. Il rotore per inseguire il campo dello statore si muove, comportandosi da motore. Più la velocità del rotore si avvicina a quella del campo magnetico rotante dello statore più le correnti all'interno delle barre rotoriche diminuiscono e con esse la coppia motrice del rotore. Al punto di equilibrio del funzionamento da motore si arriva quando la coppia prodotta dal rotore uguaglia la coppia resistente. La velocità del rotore ω_r sarà necessariamente più bassa di quella del campo statorico ω_s , altrimenti non ci sarebbe induzioni di correnti nello statore né coppia.

La differenza relativa di velocità tra campo statorico e rotorico, detta scorrimento, s è:

$$s = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s}$$

e nel funzionamento come motore è compresa tra 0 e 1.

Se all'albero del rotore si applica una coppia esterna, e il rotore supera la velocità del campo magnetico statorico inizia a trainarlo e genera corrente nello statore. In questo caso la velocità del campo rotorico è più alta di quella del campo statorico e perciò s è minore di 0.

Se la coppia esterna supera la coppia massima esprimibile dal generatore, la velocità del rotore supera il punto critico ω_c . In questo caso il campo magnetico statorico non riesce più a rimanere agganciato al campo magnetico rotorico e il rotore si deve frenare.

Se il rotore è avvolto, e la corrente sugli avvolgimenti che transitano davanti allo statore può essere cambiata ad esempio con una resistenza, si può ridurre il momento trasmesso dal rotore allo statore e con esso la potenza generata, variando la curva caratteristica. Per questo nei generatori vengono messe delle resistenze esterne al rotore e collegate con contatti striscianti, oppure interne al rotore e comandate con mezzi ottici (quali ad esempio Optislip Vestas).

2.4.7 Prestazioni degli aerogeneratori.

Per definire le caratteristiche di funzionamento degli aerogeneratori al variare dell'intensità del vento è necessario definire la curva di prestazione

Trascurando i rendimenti degli organi meccanici ed elettrici secondari, il punto di funzionamento si ricava dall'equilibrio tra la potenza prodotta dal rotore e la potenza assorbita dal generatore. L'andamento della potenza prodotta dal rotore in funzione della velocità del vento è rappresentata nella fig 2.4.11 Solitamente si rappresenta la potenza in funzione del parametro λ rapporto tra la velocità della punta della pala e la velocità del vento:

$$\lambda = \frac{\omega R}{v_v} \text{ per esempio } \lambda = \frac{2[\text{rad/sec}] \cdot 26[\text{m}]}{10[\text{m/s}]} = 5,2$$

Mentre la potenza del rotore è espressa in funzione di c_p :

$$P = c_p \cdot \frac{1}{2} \rho \pi R^2 v_v^3$$

Dall'incrocio tra curva di prestazione e le curve che rappresentano i punti di funzionamento del rotore si ricava il punto di funzionamento dell'aerogeneratore.

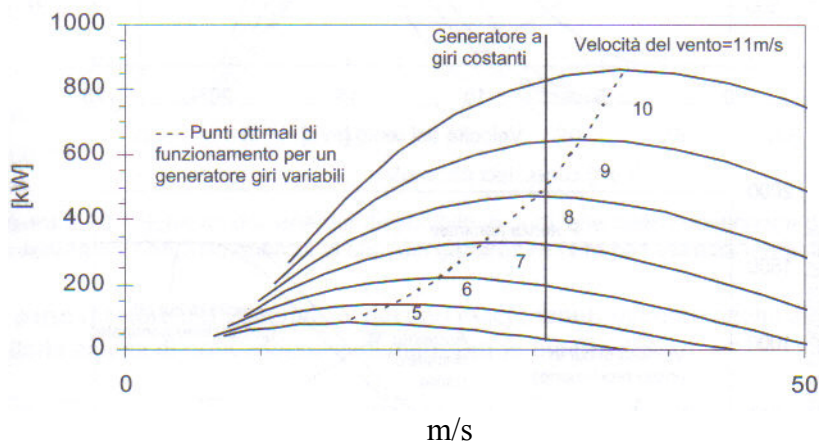


Fig.2.4.11 Punti di funzionamento dell'aerogeneratore espresso in kW in funzione della velocità del vento. Da questa si determina il punto di funzionamento ottimale delle macchine

Al raggiungimento della potenza massima del generatore il rendimento aerodinamico non interessa più perché la potenza disponibile è sovrabbondante. Quindi nel secondo tratto della curva il limite è dato dalla potenza del generatore.

Potendo aumentare il diametro del rotore la curva evolverebbe aumentando nel primo tratto, mentre aumentando la potenza del generatore si avrebbe un aumento del secondo tratto. L'effetto di queste variazioni di progetto sulla produzione finale dell'aerogeneratore dipende anche dal profilo di ventosità del sito in cui è installato. La velocità del vento più frequente corrisponde al tratto di curva in carico parziale, perciò piccoli aumenti di ventosità in questo tratto portano forti aumenti di produzione.

La curva caratteristica delle macchine commerciali viene prevista al calcolo prima della commercializzazione, e poi viene certificata. Enti certificatori autorevoli sono Ris0, Germanischer Lloyd, DEWI, tutti facenti parte del Measnet, una rete europea di collegamento tra tecnici delle misurazioni per l'energia eolica. Questi misurano la potenza prodotta in funzione della velocità del vento all'altezza del mozzo. Conoscendo la curva caratteristica della ventosità di un sito è possibile calcolare quale percentuale dell'energia disponibile venga dispersa, e per quali motivi.

A questo dato vanno aggiunti o sottratti gli effetti della topografia. Esistono vari metodi per considerare la topografia. Alcuni sfruttano la conservazione della massa (Wal82), e vengono implementati da applicativi basati su WAsP e MS-Micro/3 (usati dai programmi Windfarm, Windfarmer, Windpro). Altri si basano sul calcolo CFD (implementato da Windsim).

Quando si hanno a disposizione i due dati della curva caratteristica $P(v)$ e della frequenza di vento $f(v)$ (meglio se per ogni settore di provenienza del vento), la produzione lorda (a meno delle perdite di trasmissione) sarà espressa dal prodotto delle due per ogni velocità del vento

$$Energia = \sum_{s=1}^{s=12} \left(\sum_{i=0}^{i=n} P_s(v_i) \cdot f_s(v_i) \right)$$

In cui s è il numero di classi di vento individuate per direzione, e n è il numero di misure fatte.

Se la produzione viene riferita alla potenza nominale della macchina si dice che è espressa in ore equivalenti:

Energia in ore equivalenti = Energia prodotta in un anno in MWh / Potenza nominale installata in MW.

Tutte le misure e le supposizioni fatte nel calcolo hanno un'incertezza dipendente dalla variabilità del dato fornito dagli anemometri, dal procedimento di micrositing e dalla curva della macchina, e si esprimono con la deviazione standard della produzione di energia dovuta al singolo dato considerato. La deviazione standard totale data da n elementi di incertezza è:

$$\sigma_{totale} = \sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} \sigma_i^2}$$

Un metodo di possibile impiego per ridurre l'incertezza dovuta alla catena di misura, consiste nel correlare la ventosità registrata sul sito con dati più certi di anemometri vicini ed è chiamato metodo MCP (Measure Correlate Predict). Se si hanno a disposizione anemometri in zona con misure storiche (ad esempio decennali), si può mettere in relazione la serie storica coi dati presi negli stessi periodi sul sito. Questo metodo permette di generare mappe di vento con una stima di producibilità su un'area di grandi dimensioni, caratterizzando anche aree soggette a particolari condizioni di ventosità. E', infatti, dalla misura su più punti e a quote diverse che si possono interpretare al meglio quei moti turbolenti che generano problematiche tecniche, dovute all'usura, alle macchine, con un aumento dei costi di manutenzione. Grazie a questo il posizionamento delle macchine è sicuramente più accurato ed ottimizzato.

2.4.8 Impatto Ambientale.

In alcune realtà italiane sono stati proposti metodi empirici per la determinazione del potenziale impatto paesaggistico.

La Regione Toscana (2003) ha proposto nelle sue linee guida per la presentazione di screening di impatto ambientale per parchi eolici, una formula per la determinazione dell'area di impatto potenziale:

$$R=(100+E)*H$$

Dove R è il raggio dell'area studio, E il numero degli aerogeneratori e H la loro altezza. Da ciò si desume che un parco di 10 aerogeneratori, alti 100 metri, avrebbero un raggio di impatto di 11 Km. È opportuno osservare che in letteratura si trovano valori più bassi della soglia di distanza di impatto visivo di un parco eolico. Per esempio, secondo Bishop (2002), la soglia può essere fissata pari a 6000m, attraverso analisi di diverse condizioni atmosferiche e di luce, oltre che per la definizione di diverse tonalità di contrasto. Questo risultato è stato inoltre approfondito confrontando l'impatto che trasmette un'installazione simile ma senza elementi in movimento, ovvero un palo di altezze e diametro diversi, e un aerogeneratore di dimensioni fisse ma in movimento. Questo raffronto ha permesso di valutare, attraverso un censimento svolto utilizzando una pagina web, di capire che per la maggior parte degli intervistati un aerogeneratore in

movimento induce un effetto visivo pari a quello che si avrebbe per un semplice palo fisso di altezza pari all'altezza del mozzo. Quindi l'autore conclude che le componenti in movimento non generano disagio visivo. Va inoltre considerato che egli propone l'utilizzo di rendering in diverse condizioni atmosferiche al fine di valutare la visibilità degli impianti. Questa condizione non è stata valutata in quanto si è prevista l'analisi allo stato atmosferico più gravoso per l'impatto visuale, ovvero in condizioni di visibilità ottimale. Infatti le particolari condizioni atmosferiche dell'area considerata, caratterizzata da lunghi periodi siccitosi e condizioni di vento presenti in buona parte dell'anno generano condizioni di visibilità ottimali. La metodologia esposta nel lavoro in esame viene quindi considerata per la definizione delle aree di impatto valutate nel presente studio.

Impatto acustico

La trasmissione del rumore è influenzata dalla topografia, dall'assorbimento del territorio circostante, dalla presenza di ostacoli, dalla direzione ed intensità del vento, dalla densità e temperatura dell'aria.

Le principali fonti di rumore di un aerogeneratore sono la pala e il moltiplicatore di giri. La norma comunemente usata per il calcolo del rumore considera che la potenza sonora diminuisca proporzionalmente all'aumento della superficie della sfera su cui si espande l'onda.

La legge italiana stabilisce che il rumore massimo sia regolato da zonizzazioni acustiche, suddivisioni in zone del territorio deliberate dai Comuni che stabiliscono i limiti del rumore permesso. Oltre il limite sul rumore massimo esiste un limite sul rumore differenziale - 3dB(a) notturno, 5 dB(A) diurno - cioè la differenza tra rumore di fondo e rumore con aerogeneratori funzionanti.

Impatto sull'avifauna

Gli aerogeneratori hanno impatti diretti sulla vita degli uccelli per rischi di collisione con le pale ed elettrocuzione con le linee aeree. Hanno impatti indiretti per la diminuzione dell'habitat e l'alterazione delle rotte migratorie. Questi problemi sono emersi inizialmente nel parco di Altamont Pass in California, per la forte concentrazione di aerogeneratori e perché gran parte dei rotori è di vecchia concezione, con alte velocità di rotazione. Da questa esperienza sono stati condotti numerosi studi evidenziando come vi sia un periodo di apprendimento durante il quale gli uccelli stanziali imparano a convivere con i mulini (Orl, 1992). Nel caso degli uccelli migratori il caso studio più recente viene dal sito di Tariffa in Spagna, zona di passo di moltissime specie, in cui si evidenzia che le altezze di volo della migrazione raramente sono al livello del rotore e come solo alcuni tra i generatori del parco siano pericolosi.

Un altro studio, svolto in Italia considerando come area studio il quella interessata dal parco eolico di Fossato di Vico (Prov PG) ha evidenziato come il rapporto tra l'impatto causato dagli aerogeneratori e quello di altre strutture civili come ripetitori, palazzi e linee elettriche sia trascurabile (Forconi P., Fusari M., 2002).

Misure correttive sono state considerate nel tenersi a distanza dai corridoi migratori, mettere meno generatori ma più grandi e perciò più lenti, evitare le torri a traliccio perché usate per la nidificazione, interrare le linee elettriche, conservare habitat alternativi.

Altri fattori di impatto ambientale

Tra gli altri potenziali impatti si mette in evidenza che la presenza dell'elemento rotante può causare disturbo alle comunicazioni. Le onde elettromagnetiche che attraversano il piano di rotazione possono venire riflesse, o interrotte in modo intermittente. È perciò opportuno verificare la presenza di canali di trasmissione di questi segnali.

Inoltre il trasporto delle macchine e le fondazioni possono causare rilevanti movimenti terra. È perciò necessario prevedere un piano di utilizzo dei materiali, una pianificazione oculata del periodo del cantiere e il posizionamento delle fondazioni sotto il livello del terreno, in modo da modificare il meno possibile il territorio. Occorre poi prevedere che la costruzione di strade in zone vergini sia

una modifica temporanea del territorio, e che nel caso di smantellamento dell'impianto queste ritornino allo stato originario. Bisogna rilevare però che la presenza di un parco eolico contribuisce a preservare dalla urbanizzazione e se è vero che alcune specie animali potrebbero vedere ridotto il loro spazio vitale, per altre accade l'inverso. Recentemente lo Stato italiano ha disposto (Decreto Legislativo 387, 2003) che chi costruisce un impianto eolico preveda obbligatoriamente il ripristino delle zone alla fine della vita degli impianti.

2.4.9 Autorizzazione di un impianto eolico.

L'autorizzazione di un progetto di impianto prevede un processo di condivisione delle informazioni sul progetto stesso da parte di tutti gli enti e le autorità coinvolte. Recentemente lo Stato ha introdotto, con il decreto 387/03, l'autorizzazione unica, una procedura gestita dalla Regione interessata che deve coinvolgere tutti gli attori di questo processo di condivisione e dare l'avvallo alla costruzione e all'impiego dell'impianto. La Regione raccoglie tutti i pareri necessari (schematizzati in tabella 2.4.3) tramite la conferenza dei servizi, ed emette o nega l'autorizzazione entro sei mesi dalla data di presentazione di un eventuale studio.

Tab.2.4.3 Autorizzazioni e enti coinvolti in un processo di approvazione di impianto eolico
(Regione Toscana, Regione Puglia, Linee guida per la VIA, 2004)

Ente	Procedimento Amministrativo
Regione	VIA, autorizzazione unica
Provincia	Nulla osta, autorizzazione linea elettrica
Comune	Convenzione, Concessione edilizia
Sovrintendenza ai beni ambientali	Nulla osta
Comunità montana	Convenzione
Corpo Forestale dello Stato	Nulla osta
Stato Maggiore della Difesa	Nulla osta
Genio Civile, Servizio Tecnico di Bacino	Nulla osta, autorizzazione linea elettrica
ENAV, ENAC, BSA	Nulla osta
Ministero dei Beni Culturali	Nulla osta
Ministero delle Attività Produttive	Nulla osta
Ministero delle Telecomunicazioni	Nulla osta
GRTN	Qualifica IAFR, allaccio, convenzione
Enel Distribuzione	allaccio, convenzione
Ufficio Tecnico di Finanza	Apertura officina elettrica, licenza

2.4.10 Costruzione.

Il processo di costruzione di un impianto eolico di grande taglia è esemplificato dal diagramma di figura 2.4.12. Il trasporto degli impianti fino al sito e sul sito necessita di un progetto appositamente dedicato. I limiti principali sono costituiti dai raggi di curvatura del percorso per far passare le pale, e la sua pendenza per far passare le parti pesanti, la torre e la navicella. La fase culminante della costruzione è il montaggio degli aerogeneratori, che viene fatto con gru che posizionano prima tutti i pezzi della torre, quindi la navicella, il mozzo e le pale. Il montaggio delle pale può avvenire a terra (figura 2.4.13), premontandole sul mozzo e poi alzando il rotore così completato (figura 2.4.14), oppure montando una pala alla volta. Nel caso dell'off-shore il montaggio viene fatto da navi gru ancorate al fondo. Durante la costruzione del parco e della linea di collegamento va

costruita la sottostazione di consegna, o la cabina. Il lato che va dalla linea al punto di consegna deve essere costruito dal proprietario della linea, perciò questo processo può essere soggetto a tempistiche differenti. Nella figura 2.4.12 viene rappresentata l'attività di cantiere nei 18 mesi necessari alla messa in funzione dell'impianto suddivisa in fasi amministrative di approvazione, organizzazione cantiere, opere edili, opere elettriche ed elettromeccaniche e la fase di collaudo.

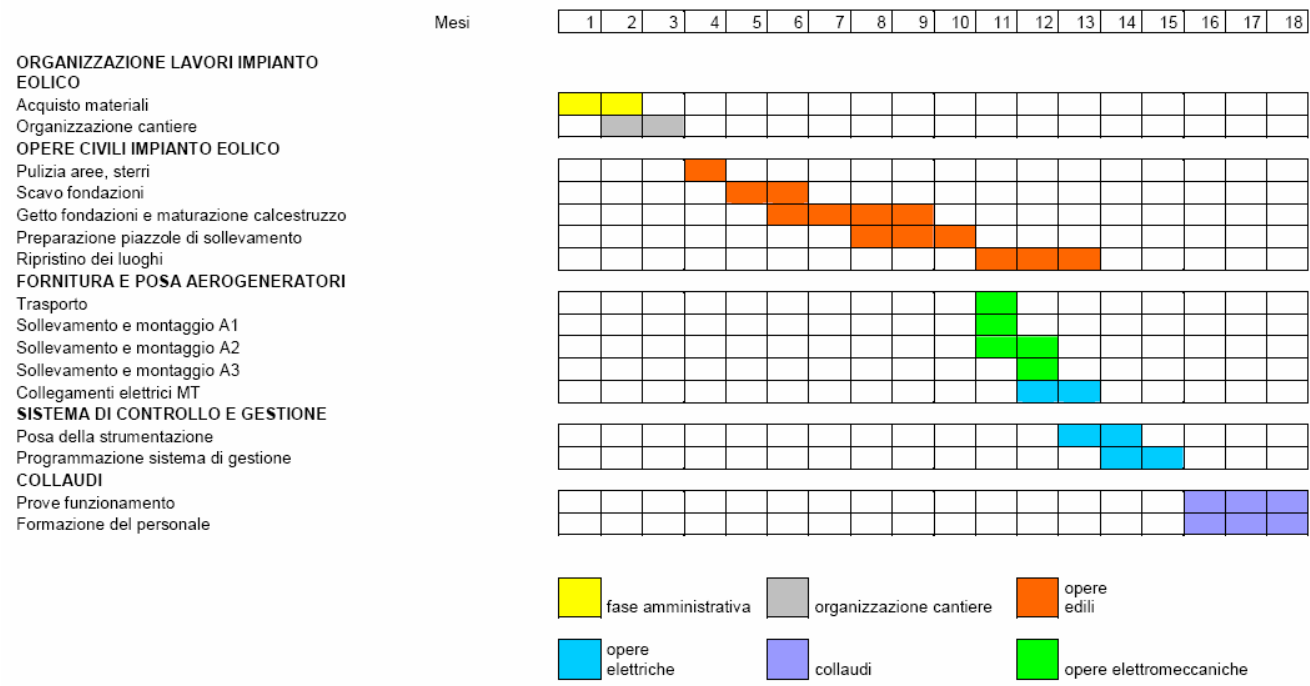


Fig.2.4.12 Esempio di cronoprogramma di cantiere.



Fig.2.4.13 Assemblaggio di un rotore a terra.



Fig.2.4.14 Fissaggio alla navicella.

2.4 Solare passivo e solare termico

Il progetto di sistemi solari passivi si basa sui seguenti concetti generali:

- ✓ raccolta della radiazione solare;
- ✓ accumulo dell'energia solare;
- ✓ distribuzione del calore solare;
- ✓ impiego di luce naturale e confort visivo.

E' importante massimizzare l'accesso della radiazione solare nell'edificio durante la stagione del riscaldamento, ottimizzando l'utilizzo del sito per evitare un'eccessiva azione di schermo da parte degli edifici vicini o degli alberi. E' pure necessario tener conto del microclima, sfruttando piantagioni, la morfologia del suolo ed altri elementi naturali., per proteggere l'edificio dal freddo e quindi ridurre le dispersioni di calore. La forma stessa dell'edificio è utilizzata per esaltare questi effetti.

In questo modo l'edificio viene considerato come un enorme collettore "abitato", con finestre o superfici vetrate relativamente grandi e rivolte a sud, sud-est e sud-ovest.

Il guadagno solare ottenuto applicando dei sistemi solari passivi è la differenza tra la quantità di energia solare utile che entra nell'edificio e le dispersioni di calore dello stesso.

Oltre che con una scelta accurata dei sistemi di accumulo e di distribuzione del calore, l'energia solare utile raccolta può essere massimizzata con:

- la scelta di un orientamento ed una inclinazione favorevoli;

- l'installazione di riflettori della luce solare;
- l'evitare ombre riportate;
- l'utilizzo di vetrate con elevata trasmittanza della radiazione solare;
- la scelta di un sistema ad elevato assorbimento della radiazione solare.

Per ridurre le dispersioni di calore possono essere utilizzati i seguenti sistemi:

- vetrate a bassa conduttanza termica;
- schermi isolanti mobili.

Un elevato assorbimento della radiazione solare implica o che la superficie assorbente è nera o che l'assorbimento apparente è elevato, come nei sistemi a guadagno diretto. Le dispersioni di calore per irraggiamento termico possono invece essere ridotte, in un certo numero di sistemi a guadagno indiretto, applicando uno strato a bassa emissività sulla superficie assorbente.

Per controllare il guadagno solare è necessario ricorrere a schermi solari, anche se il loro utilizzo durante la stagione del riscaldamento sarà in contrasto con la necessità di evitare ombreggiamenti.

In questo contesto saranno presi in considerazione i seguenti sistemi di mitigazione:

- schermi fissi;
- schermi mobili;
- vegetazione.

La scelta di un orientamento ed una inclinazione favorevoli è il sistema più importante per ottimizzare il guadagno solare.

In generale, nella stagione del riscaldamento, la quantità maggiore di energia solare è raccolta da una superficie inclinata rivolta a sud. Ciò non è più vero quando, per esempio, c'è più sole al mattino che al pomeriggio o viceversa e questa asimmetria può essere causata da nubi o ombre.

La quantità di energia solare utilizzata dipenderà poi dall'accumulo termico e dal modello di domanda del calore. E ciò può influenzare la scelta dell'orientamento ottimale. Se la domanda di calore nel mattino è più bassa che nel pomeriggio, un orientamento verso sud-ovest può essere più vantaggioso.

Se il piano del collettore non è rivolto esattamente a sud, la quantità di energia utile raccolta si riduce, anche se solo leggermente fino ad un angolo di 30 °C verso est o ovest. In questo caso, però, l'efficacia di uno schermo solare può venire drasticamente ridotta ed è quindi possibile che sia proprio lo schermo, invece del guadagno solare, a vincolare la scelta dell'orientamento per la stagione del riscaldamento.

L'edificio è pure un enorme unità di accumulo di calore "abitato". Ciò è ottenuto disponendo nelle strutture opportune quantità di materiale ad alta capacità termica per l'accumulo di energia solare. Questi materiali sono il cemento, i mattoni, le pietre e l'acqua, presenti nella costruzione.

In una giornata serena, l'energia solare assorbita da un sistema passivo può superare largamente la domanda di calore, ma questo esubero di energia può essere accumulato per essere utilizzato più tardi, quando necessita. Se troppo calore è rilasciato nell'ambiente si può produrre un surriscaldamento, forzando così gli occupanti ad abbassare schermi o a ricorrere ad una ventilazione forzata. E in questo modo una parte potenziale di energia utile verrà perduta. L'accumulo ha quindi due scopi: quello di recuperare l'energia in esubero e di evitare il surriscaldamento.

Inoltre, in certe circostanze, l'accumulo può assorbire il calore rilasciato dal sistema di illuminazione elettrica, dagli elettrodomestici e dagli occupanti.

L'efficienza di un accumulo dipende da un certo numero di fattori che possono essere suddivisi in due categorie:

- le dimensioni e i materiali costituenti l'accumulo;
- i modi in cui il calore viene immagazzinato e rilasciato.

2.5.1 Materiali e spessori

Come noto, la capacità termica di una certa quantità di materiale è la quantità di calore che deve essere fornita al materiale per innalzare la sua temperatura di 1°K. La capacità termica dei più comuni materiali da costruzione e dell'acqua (per quest'ultima tra il punto di congelamento e quello di ebollizione) è praticamente indipendente dalla temperatura. I materiali che subiscono un cambiamento di fase (PCM, materiali a cambiamento di fase) assorbono calore quando fondono e lo rilasciano quando risolidificano e questo avviene in un ristretto intervallo di temperatura detto "intervallo di fusione". In questo intervallo i materiali presentano il più alto valore della capacità termica.

La capacità termica dei più comuni materiali da costruzione dipende principalmente dalla densità; in tabella 2.51 sono riportati i valori di calore specifico e densità di alcuni materiali da costruzione.

Tab. 2.5.1 Calore specifico, densità e capacità termica di diversi materiali

Materiale	Calore specifico	Densità	Capacità termica
	KJ/Kg °K	Kg/mc	KJ/mc °k
Fibreboard	1	300	300
Cemento leggero	1	600	600
Legname	1.21	600	726
Intonaco	1	1300	1300
Mattoni	0.8	1700	1360
Cemento	0.84	2100	1760
Acqua	4.2	1000	4200
PCM	5.1	1355	6910

La massa (in questo caso la massa termica) è quindi una buona misura della capacità termica. Comunque la massa efficace per l'accumulo è generalmente minore della massa totale. Questa massa dipende fortemente dalla frequenza con la quale l'accumulo è caricato e poi scaricato. Il gradiente di temperatura attraverso il materiale dell'accumulo si riduce con la distanza dalla superficie riscaldata, ossia il materiale partecipa sempre meno all'accumulo.

L'acqua presenta generalmente le migliori caratteristiche ed inoltre, per effetto della circolazione naturale, è possibile ottenere un accumulo praticamente isoterma, se il progetto riesce a limitare il fenomeno della stratificazione. Le caratteristiche dell'acqua sono superate solo dai materiali a cambiamento di fase, anche se il calore viene generalmente accumulato a temperatura inferiore. Questa proprietà può essere molto vantaggiosa se il PCM è impiegato all'interno di un locale, in quanto, se la sua temperatura di fusione è leggermente superiore a quella richiesta per l'ambiente, il materiale può funzionare come un termostato: il calore in esubero può essere accumulato senza un sensibile aumento della temperatura e può essere rilasciato dall'accumulo a temperatura praticamente costante. I problemi maggiori nell'utilizzo di questi materiali sono dati dal loro contenimento.

Il mezzo più efficace per trasferire calore ad un accumulo è quello di metterlo a contatto diretto con la radiazione solare (accumulo primario). Un'altra possibilità è il contatto termico radiativo con

un'area illuminata dal sole (accumulo secondario). In questo caso la temperatura media radiante "vista" dall'accumulo deve essere maggiore della temperatura superficiale dell'accumulo stesso.

Un terzo sistema, ma meno efficace, usa la convezione naturale: l'aria viene prima riscaldata in uno spazio solare o un collettore e poi trasferita all'accumulo (in questo caso si parla di accumulo isolato).

Naturalmente la temperatura dell'aria deve essere più alta di quella dell'accumulo. Lo scarico dell'accumulo può avvenire per irraggiamento termico e/o per convezione, la conduzione gioca sempre un ruolo minore in questa fase. Un colore scuro è il più efficace per l'assorbimento di una maggiore quantità di radiazione solare da parte di un accumulo primario. In un sistema diretto l'accumulo avviene all'interno degli elementi costruttivi come le pareti ed i solai, per cui questa soluzione può essere più problematica (a parte un pavimento scuro). Ciò può non avere eccessiva importanza se il calore non assorbito dall'accumulo primario può essere trasferito in parte ad un accumulo secondario e in parte all'ambiente per convezione. Un sistema poi a diffusione può trasferire la radiazione solare su una più ampia superficie, massimizzando così le dimensioni di un accumulo primario.

Nel caso di un accumulo secondario è importante che sia "visto" da quello primario e che inoltre la sua emissività sia alta, come è sempre il caso delle comuni superfici, indipendentemente dal loro colore. Il trasferimento di calore ad un accumulo isolato avviene solo per convezione, naturale o forzata. L'accumulo isolato può essere costituito da un letto di pietre, da un doppio solaio, da un volume di stoccaggio termico situato lontano dall'edificio oppure dalla rimanente parte delle strutture dell'edificio. Il rilascio del calore può essere controllato da serrande o ventilatori, oppure può essere trasmesso per conduzione a pareti e solai.

2.5.2 Collettori termici

Il Solare Termico è una tecnologia che permette la conversione diretta dell'energia solare in energia termica per la produzione di acqua calda.

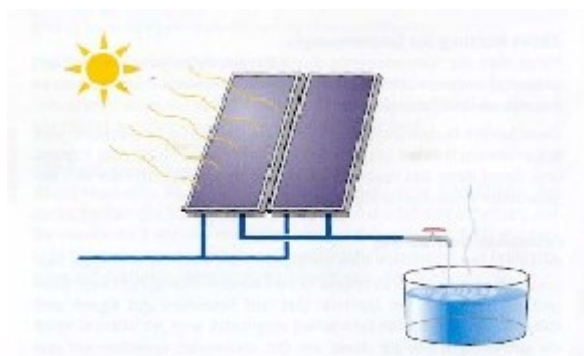


Fig. 2.5.1 Schema di pannello solare termico.



Il dispositivo base: "il collettore solare" (figura 2.5.1) è costituito da un corpo nero assorbente entro il quale può scorrere un fluido (con la funzione di captare l'energia irradiata dal sole attraverso la superficie scura e trasferirla sotto forma di energia termica al fluido) e una copertura selettiva trasparente sulla parte esposta al sole (con la funzione di limitare le dispersioni per irraggiamento verso l'ambiente esterno), tutto racchiuso in un contenitore opportunamente isolato sulle pareti laterali e sulla parete opposta a quella di ricezione della radiazione.

I Collettori Solari vengono connessi tra loro in serie e parallelo in modo da riuscire a produrre consistenti quantità di acqua calda ad una temperatura compresa tra i 50°C e 160 °C.

Questi sistemi sono una tecnologia affidabile e competitiva sul mercato e vengono largamente utilizzati per i seguenti scopi:

- riscaldamento dell'acqua sanitaria ad uso domestico, alberghiero e ospedaliero;
- riscaldamento dell'acqua delle docce (stabilimenti balneari, campeggi, ecc.);
- riscaldamento degli ambienti;
- riscaldamento dell'acqua per processi a bassa temperatura;
- essiccazione di prodotti agro-alimentari;
- raffrescamento degli ambienti (ancora eccessivamente costoso).

L'acqua calda prodotta dai collettori solari durante le ore del giorno deve essere accumulata per poi poter essere utilizzata nelle ore notturne. Il collegamento tra collettori solari e serbatoio di accumulo viene detto: "Circuito Solare".

Il circuito solare può essere "aperto", se il fluido termovettore che circola nei collettori è lo stesso del circuito di utilizzo o "chiuso", se il fluido termovettore che circola nei collettori cede calore al fluido d'utilizzo tramite uno scambiatore.

Inoltre la circolazione del fluido termovettore all'interno del circuito solare può essere "naturale", se avviene grazie al processo convettivo del fluido (che scaldandosi sale verso il serbatoio di accumulo) o "forzata", se avviene tramite una pompa che trasferisce il fluidotermovettore dai collettori al serbatoio d'accumulo.

Gli impianti Solari si distinguono in quattro categorie principali a seconda del tipo di circuito solare e della circolazione utilizzati

1) Circuito aperto a circolazione naturale (figura 2.5.2). Generalmente questo sistema è utilizzato per il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria delle docce di impianti con utilizzo stagionale (per esempio per stabilimenti balneari o campeggi) o per il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria uso domestico con utilizzo annuale.

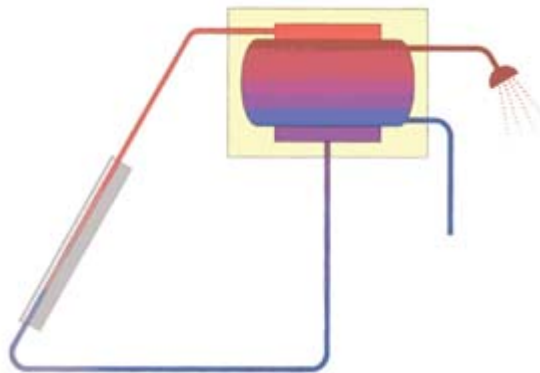


Fig. 2.5.2 Circuito aperto a circolazione naturale

2) Circuito chiuso a circolazione naturale (figura 2.5.3). Generalmente questo sistema è utilizzato per impianti per il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria ad uso domestico, con utilizzo annuale.

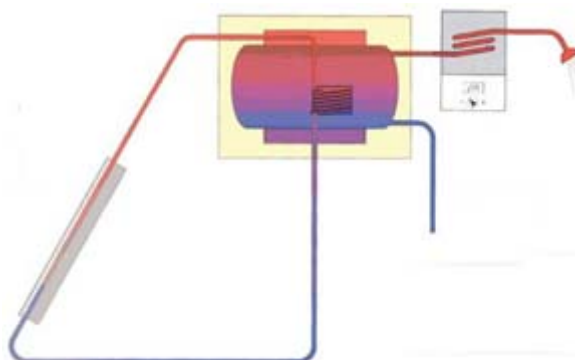


Fig. 2.5.3 Circuito chiuso a circolazione naturale.

3) Circuito aperto a circolazione forzata (figura 2.5.4). Generalmente questo sistema è utilizzato per il riscaldamento centralizzato dell'acqua calda sanitaria di impianti con utilizzo stagionale (per esempio per stabilimenti balneari o campeggi) oppure per il riscaldamento dell'acqua delle piscine scoperte.

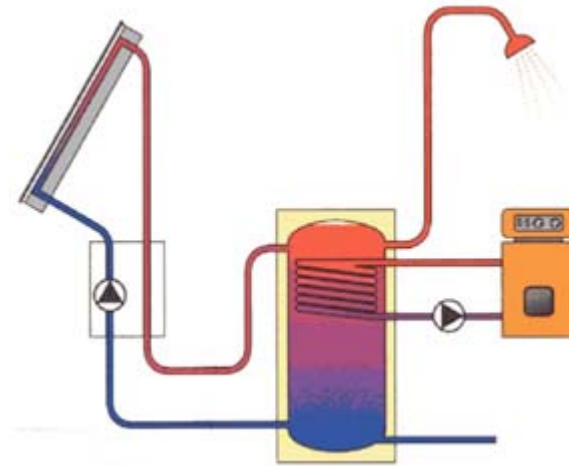


Fig. 2.5.4. Circuito aperto a circolazione forzata.

4) Circuito chiuso a circolazione forzata (fig. 2.5.5). Generalmente questo sistema è utilizzato per il riscaldamento centralizzato dell'acqua calda sanitaria di impianti con utilizzo annuale; per il riscaldamento dell'acqua delle piscine coperte o scopribili; per il riscaldamento degli ambienti, o per il riscaldamento simultaneo dell'acqua calda sanitaria e dell'acqua di piscine scoperte.

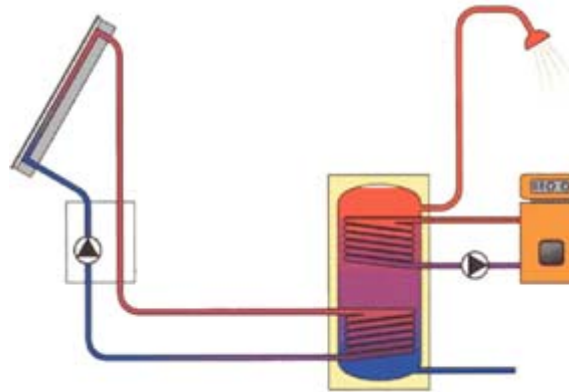


Fig. 2.5.5 Circuito chiuso a circolazione forzata.

Cap. 3 - Analisi dell'area studio

I territori montani in senso generale sono caratterizzati da una serie di problematiche connesse non tanto alla specifica area geografica in cui si collocano, ma alla loro stessa natura. Le caratteristiche morfologiche del territorio risultano complesse e queste unite a una densità abitativa scarsa creano una serie di problemi di gestione, manutenzione e salvaguardia.

3.1 Inquadramento socio-economico

La Comunità Montana Acquacheta (CMA) è costituita da 5 Comuni, ubicati lungo le vallate del fiume Montone e del fiume Tramazzo, nella provincia di Forlì-Cesena.

Tab.3.1.1 Popolazione e superficie della Comunità Montana Acquacheta.

Comuni	Popolazione residente (al 31/12/1991)	Popolazione residente (al 31/12/2000)	Superficie in Km ^q	Abitanti/Kmq (al 31/12/2000)	Percentuale rispetto alla Provincia (Residenti 361152)
Dovadola	1563	1526	38.77	39.36	0.4%
Modigliana	4924	4768	101.25	47.09	1.32%
Portico S.Benedetto	1034	893	60.57	14.74	0.24%
Rocca San Casciano	2306	2116	50.19	42.15	0.58%
Tredozio	1619	1385	62.13	22.29	0.38%
Totale	11446	10688	312.91	34.15	2.95%

Le caratteristiche dell'area della CMA possono essere riassunte in una serie di fattori che rappresentano contemporaneamente i suoi punti di forza e debolezza.

Lo splendido contesto naturalistico dell'area, con la presenza del Parco Nazionale delle Foreste Casentinesi, contribuisce alla definizione di un territorio con una qualità ambientale molto elevata, con forte potenzialità di attrattiva turistica e residenziale, e allo stesso tempo richiede grossi sforzi economici per una sua attenta manutenzione.

Un'ulteriore risorsa è costituita dal patrimonio storico ed architettonico che necessita però di essere valorizzato attraverso una serie di interventi di recupero.

Esistono poi una serie di problematiche legate allo spopolamento diffuso dei territori (riscontrabile anche dai dati sulla popolazione riportati in tabella 3.1.1), soprattutto di quelli più distanti dalla pianura, con conseguenti rischi sociali ed ambientali. Infatti, a causa di un'elevata migrazione giovanile verso i grandi centri urbani, che offrono ai cittadini migliori servizi e più opportunità lavorative, unita ad una natalità quasi nulla, l'età media della popolazione è in continua crescita e questo crea una maggiore domanda di servizi sanitari e sociali, che a causa delle scarse risorse economiche, risultano insufficienti e di scarsa qualità.

Anche la presenza delle industrie è alquanto ridotta ed è costituita da pochissimi esempi di aziende qualificate e capaci di reggere la competizione del mercato globale.

L'offerta di lavoro è essenzialmente di basso profilo e ha richiamato nell'area lavoratori extracomunitari con conseguenti fenomeni di tensione sociale, seppur rari e di limitata rilevanza, ma che comunque rappresentano i primi segnali di una società che sta cambiando nella sua composizione e nei suoi bisogni di servizi.

Il settore agricolo non è riuscito a difendere le sue peculiarità tradizionali, la produzione è generica e di scarsa qualità e di conseguenza si ritrova legata all'andamento dei mercati e alle politiche non sempre favorevoli dell'Unione Europea.

Le tradizioni agroalimentari e gastronomiche spesso si sono perse o, quando sono state mantenute, non sono state valorizzate ed adeguatamente promosse come risorsa.

Solo i territori di Modigliana e di Dovadola sono caratterizzati da un sistema produttivo specializzato nel settore delle colture arboree intensive, così come avviene nelle aree agricole della pianura romagnola.

3.2 Inquadramento delle attività produttive agricole e industriali

L'economia del settore agricolo nella CMA è fortemente incentrata sulla foraggicoltura e l'allevamento di bestiame da carne.

Il settore pur essendo economicamente in crisi riveste, quindi, un ruolo strategico sia sotto l'aspetto agronomico che ambientale. La filiera delle carni, in cui è inclusa l'intera gamma di animali da allevamento, è caratterizzata da una insufficiente struttura e dimensione della maggior parte delle imprese.

Il comparto agricolo assume ancora oggi una notevole importanza dal punto di vista economico (v. tabelle da 3.2.1 a 3.2.5) e sociale per l'ambito comunitario, risentendo comunque, probabilmente anche in modo maggiore rispetto ad altri settori, delle tendenze demografiche in atto.

Infatti se si esaminano i dati relativi alla popolazione attiva in agricoltura si rileva una forte concentrazione degli addetti nelle classi di età superiore ai 45\50 anni e con addetti di età inferiore ai 40 anni in numero inferiore agli ultra sessantenni; dato che lascia ben poche speranze per un effettivo ricambio generazionale in agricoltura.

Tab 3.2.1 Elenco aziende agricole per ambiti comunali: Numero – Superficie Totale – Superficie Agricola Utilizzata (SAU) – Unità Lavorative Totali (ULT) – Reddito Lordo Standard (RLS).

Comuni	Aziende		Sup. Totale		SAU		ULT		RLS	
	n	%	ha	%	ha	%	n	%	€	%
Dovadola	119	0.45	3028	1.32	1296	0.92	133.53	0.49	1744.74	0.62
Modigliana	387	1.47	8371	3.64	3714	2.63	360.59	1.33	5400.16	1.91
Portico e San Benedetto	60	0.23	6030	2.62	1839	1.30	68.92	0.25	605.24	0.21
Rocca San Casciano	138	0.52	4495	1.95	2145	1.52	106.30	0.39	1214.47	0.43
Tredozio	91	0.35	4432	1.93	1577	1.12	92.93	0.34	730.88	0.26
Totale e Media	795	0.60	26.356	2.29	10.571	1.50	762.27	0.56	9695.49	0.69

Tab. 3.2.2 Orientamenti Tecnico-Economici – SAU in ettari.

Comuni	Seminat.	Ortoflor.	Culture Permanenti	Erbivori	Granivori	Policolt.	All. Polli	Combin.	
Dovadola	361.29	0	410.52	11.8	5.10	241.04	30.50	236.08	12
Modigliana	1005.73	2.95	874.30	343.32	8.08	717.78	253.6	503.83	37
Portico S.B.	246.80	0	324.60	728.54	29.50	2.70	154.3	352.56	18
Rocca S.C.	648.46	2.11	162.92	176.33	14.25	399.53	68.15	659.70	21
Tredozio	549.78	0	307.08	91.40	0.25	251.81	45.50	331.19	15
Tot.	2812.06	5.06	2079.42	1351.39	57.18	1612.86	552.1	2083.36	10

Tab. 3.2.3 Aziende con Seminativi per Principali Coltivazioni – Superficie in ettari.

Comuni	Cereali				Coltivazioni Ortive		Coltivazioni Foraggiere Avvicendate	
	Totale		Frumento					
	Aziende	Superf.	Aziende	Superf.	Aziende	Superf.	Aziende	Superf.
Dovadola	38	376.73	29	242.91	11	2.72	42	296.70
Modigliana	146	947.00	89	518.80	27	10.11	179	1077.32
Portico S.B.	23	160.90	13	85.20	8	3.70	41	427.55
Rocca S.C.	70	686.20	52	400.00	12	5.28	80	733.61
Tredozio	42	391.88	23	94.51	3	1.20	58	733.61
Totale	319	2562.71	206	1341.42	61	23.01	400	3224.38

Tab. 3.2.4 Aziende con Coltivazioni Legnose Agrarie – Superficie in ettari.

Comuni	Vite		Olivo		Fruttiferi	
	Aziende	Superf.	Aziende	Superf.	Aziende	Superf.
Dovadola	84	115.64	9	7.26	56	179.12
Modigliana	251	322.91	125	71.53	118	255.42
Portico S.B.	9	3.15	0	0	2	3.80
Rocca S.C.	62	47.29	0	0	35	40.75
Tredozio	39	33.07	0	0	19	27.85
Totale	445	522.06	134	78.79	230	506.94

Tab. 3.2.5 Aziende Agrituristiche e Ricettività.

Comuni	Numero Aziende	Posti Letto
Dovadola	3	50
Modigliana	5	126
Portico S.B.	1	8
Rocca S.C.	4	54
Tredozio	4	74
Totale	17	312

La viabilità del territorio è spesso carente, mancano collegamenti adeguati con le arterie principali, creando problemi ai residenti, alle aziende e ai turisti.

La qualità ambientale del territorio è elevatissima, ma con difficoltà insediative e di viabilità per i residenti, che, quindi, migrano verso il capoluogo, con conseguente aumento dei costi di manutenzione della rete viaria e rischi di dissesto idrogeologico. I centri storici si spopolano e il patrimonio architettonico è lasciato al degrado; vengono a mancare idee nuove e la voglia di sperimentare tipica dell'imprenditoria giovanile, le imprese e le industrie artigiane quando non muoiono, sopravvivono con grosse difficoltà.

Gli Enti Locali vedono diminuire le entrate legate al numero dei residenti e vedono aumentati i costi per la fornitura dei servizi socio-sanitari; si viene cioè ad innescare una reazione a catena, il cui andamento può essere invertito solo attraverso un'attenta pianificazione degli interventi ed un uso razionale delle risorse economiche disponibili.

Gli interventi di tipo strutturale non possono più essere solo la risposta ad un problema contingente, ma devono essere realizzati quando la loro ricaduta in termini economici o sociali perdura nel tempo, giungendo quindi ad uno sviluppo sostenibile.

Il sistema industriale della CMA è composto essenzialmente da industrie che operano nel settore manifatturiero e metalmeccanico. Le industrie manifatturiere si concentrano prevalentemente nel Comune di Modigliana, che per questo motivo è caratterizzato da una maggiore crescita economica rispetto agli altri Comuni, mentre le imprese metalmeccaniche sono presenti in tutta la Valle del Montone.

Tutto il settore ha, comunque, necessità di essere sostenuto e promosso adeguatamente, dal momento che solo attraverso un sistema industriale e artigianale solido e concorrenziale si può ottenere uno sviluppo stabile e duraturo del territorio. Non va però dimenticato che sul territorio esistono degli equilibri ambientali da preservare, e tale obiettivo pone dei limiti e dei vincoli allo sviluppo industriale.

3.3 Inquadramento territoriale e geomorfologico

Il territorio della CMA si estende su una superficie complessiva di Ha 31310.

Dai dati dell'Inventario Forestale della Regione Emilia Romagna risulta che le aree boschive occupano una superficie di Ha 13396, pari a circa il 2.5% del patrimonio boschivo regionale, mentre Ha 8881 sono coltivi e Ha 7336 sono pascoli (v. tabella 3.3.1).

Tab. 3.3.1 Ripartizione in percentuale dei tipi di uso e copertura del suolo.

Comuni	Aree Urbane	Aree Agricole	Praterie Pascoli	Aree Boschive	Acque	Aree Nude	Altro
Dovadola	2.4	32.2	27.5	35.8	0.2	1.6	0.3
Modigliana	0.4	33.7	27.5	36.1	0.8	1.6	0
Porticoe San Benedetto	1.3	10.7	22.5	60.7	0.3	4.4	0.1
Rocca San Casciano	2.2	35.4	23.1	36.3	0.5	2.4	0.1
Tredozio	0.6	32.3	24.8	37.2	0	5.2	0
Totali	1.38	28.86	25.08	41.22	0.36	3.04	0.1

Tab. 3.3.2 Articolazione del Territorio Comunitario per Bacini Idrografici (in Ha)

Comuni	Valle del Tramazzo	Valle del Montone	Totale
Dovadola	476	3401	3877
Modigliana	9085	1040	10125
Porticoe San Benedetto	36	6021	6057
Rocca San Casciano	0	5020	5020
Tredozio	4829	1402	6231
Totali	14426	16884	31310

Geologicamente si rileva che in tutto il territorio affiora la formazione marnoso arenacea romagnola, riferibile al Miocene medio (15-7 milioni di anni), che è costituita da una ritmica e potente alternanza di arenarie, marne, siltiti e argilliti.

La regolare successione di 5000 metri di spessore (Ricci Lucchi, 1975) alterna strati scuri, grigio giallastri di arenaria (sabbia cementata sia chimicamente che per compressione) e strati più chiari di marne (argille e limi più o meno calcarei).

L'uniformità geolitologica che domina l'area implica un paesaggio omogeneo, abbastanza monotono ancorché aspro soprattutto in corrispondenza delle rughe di sollevamento, alle quali sono associati altri turbamenti geotettonici quali piegamenti, faglie, accavallamenti e nelle cui vicinanze compaiono ripidissimi versanti, magari adiacenti a piane sospese per distensioni o vecchie frane.

L'erosione diffusa ha agito profondamente nel tempo modellando forme arrotondate e demolendo gli edifici più fragili della giovane struttura appenninica. Più nude e senza dubbio più delicate appaiono le pendici esposte a Sud, in quanto i maggiori sbalzi di temperatura minano più facilmente queste rocce caratterizzate da spiccata gelività.

Sono presenti fenomeni franosi profondi di vecchia data (Gigodeta presso S. Benedetto) attualmente abbastanza stabili e comunque di evoluzione futura non prevedibile.

A parità di altri fattori si può affermare che là dove prevale la componente arenacea, oppure le frazioni si equivalgono, il substrato appare meno instabile, dove invece abbonda la frazione marnosa, più incoerente, aumenta il rischio di dissesto.

Per quanto riguarda i suoli, le formazioni rocciose presenti costituiscono, almeno potenzialmente, un'ottima matrice pedologica dal punto di vista chimico, mentre qualche problema di tipo strutturale può sorgere in presenza di substrati fortemente argillosi.

In generale, dove la pedogenesi incontra fattori limitanti naturali si rilevano suoli poveri o addirittura roccia affiorante, mentre dove esistono condizioni adatte, si vengono a formare terreni abbastanza fertili di medio impasto.

Clima e Fitoclima.

Dal punto di vista climatico l'area in esame ha caratteristiche mediterranee montane ed è inquadrabile nel "clima temperato" della fascia montana dell'Appennino settentrionale, caratterizzato da un periodo secco estivo di uno o due mesi e da tre stagioni più o meno piovose.

Le temperature medie annue passano da circa 12°C nei fondovalle a circa 8°C nelle cime più elevate; le temperature estreme vanno da -6°C (media nei minimi assoluti) a 34°C (media dei massimi assoluti) nella fascia più bassa e da -13°C a 29°C alle quote più elevate.

Le fasce di vegetazione individuabili in tale area sono quella "medio europea" dei querceti misti nel settore collinare e submontano, e quella "subatlantica" delle faggete nella porzione al di sopra degli 800/1000 metri s.l.m. (Pignatti, 1979).

Idrografia.

Il fiume Montone ed il torrente Tramazzo sono i due principali corsi d'acqua che attraversano la CMA. Il reticolo idrografico principale è costituito da una serie di valli e vallette ad andamento trasversale agli assi tettonici e che spesso coincide con linee di faglia.

Il fiume Montone nasce nel cuore del Parco Nazionale delle Foreste Casentinesi ed ha conservato, nel tratto collinare e montano, un alto grado di naturalità, diventando poi completamente arginato a valle del limite settentrionale di questa Comunità.

Il Tramazzo ha anch'esso le sue origini all'interno del Parco ed è un torrente di modesta lunghezza che, all'altezza del centro urbano di Modigliana, si unisce ai torrenti Acereta ed Ibola, per dare origine al fiume Marzeno.

Paesaggio Forestale.

La fascia fitoclimatica dei querceti caducifogli caratterizzata dalla presenza di roverella (*Quercus pubescens*), orniello (*Fraxinus ornus*), carpino nero (*Ostrya carpinifolia*), e cerro (*Quercus cerris*), in percentuale variabile a seconda dell'esposizione e del substrato geologico, è la più estesa e vede la diffusione di diversi tipi con le relative forme di regressione e sostituzione. La forma di governo notevolmente più diffusa in questo strato è quella del ceduo matricinato.

Il ricco corteggio floristico dei querceti misti presenta numerose specie secondarie, tra le quali si segnalano: aceri (*A. opalus* e *A. campestris*), sorbi (*S. domestica*, *S. torminalis* e *S. aria*), ciliegio selvatico (*Prunus avium*), castagno (*Castanea sativa*) ecc.

Nutrita è la schiera degli arbusti quali biancospino (*Crateagus sp.*), ginepri (*Juniperus communis* e *Juniperus oxycedrus*), citiso (*Cytisus sessilifolia*) e, tra le tante leguminose, ginestre (*Spartium junceum*) e cisti (*Cistus sp.*).

Il sanguinello (*Corpus sanguinea*), i rovi (*Rubus sp.*) e la vitalba (*Clematis vitalba*) caratterizzano i margini dei boschi e le chiarie, mentre il nocciolo (*Corylus avellana*), il sambuco (*Sambucus niger*) e il corniolo (*Corpus mas*) prediligono recessi freschi ed ombreggiati.

In alcuni casi la nota dominante del paesaggio forestale è data dai soprassuoli di conifere di origine artificiale e, in primo luogo, dalle pinete di pino nero (*Pinus nigra*).

Si tratta del risultato dell'intensa attività di rimboschimento che già dagli anni '30, ma in particolare negli ultimi trent'anni, ha caratterizzato la gestione di molti terreni, col chiaro intento di contrastare l'erosione e di recuperare alla vegetazione forestale superfici divenute improduttive in seguito al loro abbandono.

Nella porzione di territorio a quota più elevata vegetano boschi a dominanza di faggio consociato con altre specie forestali tipicamente montane. La fascia della faggeta annovera tipologie vegetazionali tipicamente nord appenniniche, riscontrabili dalla Liguria alle Marche: si tratta del tiglio-faggeto e, in misura minore, abete-faggeto e acero-faggeto.

Il paesaggio della faggeta, pur ancora condizionato dalle intense utilizzazioni che hanno caratterizzato soprattutto gli anni dell'immediato dopoguerra, presenta uno stacco piuttosto netto tra le zone basse, in cui in passato è prevalso il governo a ceduo (matricinato o a sterzo), e quelle alle quote più elevate, ove un po' per lungimiranza, un po' per difficoltà oggettive legate all'asperità dei luoghi, prevalgono formazioni ad alto fusto più variate ed interessanti.

Da tempo, comunque, soprattutto nei boschi di proprietà pubblica, le ceduazioni sono state sostituite da interventi tesi alla trasformazione della forma di governo da ceduo a fustaia, per cui, anche nelle faggete ubicate alle quote più basse, è in corso una lenta ma progressiva evoluzione verso formazioni più evolute e variate, sia dal punto di vista strutturale che della composizione specifica.

3.4 Fabbisogno energetico del territorio

L'area considerata si inserisce nel contesto territoriale di un'arealtà industrializzata, che avverte un crescente bisogno di energia, unitamente alla necessità di sfruttare al meglio le proprie fonti rinnovabili in una prospettiva di crescita dell'autonomia energetica e di riduzione delle emissioni inquinanti.

Infatti nel periodo 1995-2000 nella Provincia di Forlì-Cesena si è avuta una crescita media di valore aggiunto della produzione industriale di circa il 28% contro il 24% di crescita dell'intera Regione Emilia-Romagna. Contestualmente la domanda di consumi finali di energia è aumentata del 20% e le emissioni di gas serra corrispondenti del 21.5%. Nello stesso periodo la Provincia ha registrato un valore aggiunto medio pro-capite inferiore del 13% a quello della Regione.

Ipotizzando un tasso di crescita provinciale analogo a quello previsto per la Regione per il prossimo quinquennio, in assenza di interventi correttivi, le emissioni di gas serra potrebbero salire di un ulteriore 15%. Tale prospettiva sembra abbastanza verosimile alla luce della carenza di concrete politiche, anche a livello nazionale, finalizzate alla riduzione di gas serra.

Il bilancio energetico provinciale e della CMA relativo al 2000 è sintetizzato nella tabella 3.4.1.

Tab. 3.4.1 Bilancio energetico della provincia di FC e della CMA¹

	Provincia di Forlì-Cesena: bilancio energetico – anno 2000	Comunità Montana Acquacheta: bilancio energetico – anno 2000
Consumo energia elettrica (tep)	126836	3741
Consumo prodotti petroliferi (tep)	244633	7216
Consumo combustibili gassosi (tep)	342176	10094
Totale consumi (tep)	713645	21052
Produzione energia elettrica (tep)	6492	-
Produzione prodotti petroliferi (tep)	-	-
Produzione combustibili gassosi (tep)	-	-
Totale produzione (tep)	6492	-
Bilancio (tep)	-707153	-21052

La tabella 3.4.1 mostra che la Provincia di Forlì-Cesena e la CMA non producono combustibili gassosi né prodotti petroliferi e si riscontrano solamente piccole produzioni da termovalutazione e idroelettrico nell'area cesenate.

La CMA nell'anno 2000 ha consumato 21052 tep dalla quale emerge una completa dipendenza dei consumi dall'importazione di energia da altre realtà territoriali. Dall'analisi dei consumi energetici emerge la prevalenza del consumo di combustibili gassosi con un valore percentuale pari al 47.95%

¹ tep (tonnellate equivalente di petrolio): unità di misura utilizzata generalmente quando si trattano grandi quantità d'energia, ad esempio, i consumi di una città. E' la quantità di energia che si ottiene bruciando 1000 kg di petrolio, 1 tep equivale a 41.8 GJ e a 11.6 MWh.

del totale dei consumi, mentre il consumo di prodotti petroliferi è pari al 34.28% del totale e quello di energia elettrica pari a 17.77%.

Nel 2001 su tutto il territorio della Provincia e quindi della CMA i consumi sono cresciuti di un ulteriore 2.8% con un incremento dell'utilizzo di fonti energetiche di origine petrolifera e un aumento di consumi di energia elettrica.

Dall'analisi della dinamica dei consumi finali di energia dal 1996 al 2001 emerge un incremento dei consumi del 19.75% con un andamento differenziato di anno in anno dovuto sia all'andamento dell'economia in generale, sia alle variazioni climatiche che, a causa della struttura del sistema economico locale, hanno un forte impatto dal punto di vista energetico.

Nel periodo considerato gli incrementi hanno riguardato tutte e tre le fonti di energia. Il peso di ciascuna fonte tuttavia è notevolmente variato. Mentre l'utilizzo di prodotti petroliferi è aumentato passando dal 30.4% al 35.4%, i combustibili gassosi sono scesi dal 50.1% al 46.6% e l'energia elettrica dal 19.5% al 18%, anche grazie alle nuove tecnologie impiantistiche delle abitazioni.

Il consumo energetico pro-capite della CMA è risultato pari a 1.65 tep/abitante, nel 1996 il dato medio nazionale del consumo energetico pro-capite era di 1.98 tep/abitante.

Confrontando i consumi totali del 2001 con quelli del 1996 risulta un incremento del 24.8% (incremento medio annuo del 4.1%).

3.4.1 Settore Residenziale

Dai dati regionali relativi ai consumi energetici per abitazione occupata emerge che l'Emilia-Romagna si attesta al terzo posto dopo la Lombardia e la Valle d'Aosta, con un consumo medio pari a 1.89 tep/abitazione (anni 1990-1996).

La CMA ha un consumo energetico medio per unità abitativa pari a 1.42 tep/abitazione (anni 1995-2001).

Per ciò che concerne i consumi di energia elettrica emerge che il consumo medio è pari a 2436 kWh/abitazione nel periodo 1997-2001, mentre a livello regionale 2592 kWh/abitazione.

3.4.2 Settore Terziario

Nel settore terziario i consumi energetici per addetto, così come quelli elettrici per addetto, a livello provinciale sono maggiori di quelli a scala regionale. In particolare quelli elettrici risultano essere il doppio.

3.4.3 Settore Industriale

I consumi energetici provinciali, per ciò che concerne il settore industriale, risultano essere inferiori rispetto a quelli regionali con un rapporto di uno a sei.

I consumi energetici per addetto della CMA mostrano un andamento decrescente a partire dal 1998, mentre i corrispondenti consumi elettrici, dopo un periodo di crescita dal 1997 al 2000, indicano a partire dal 2001 un assestamento su valori costanti.

Sia a livello provinciale che di Comunità Montana i consumi elettrici nel settore industriale presentano un'incidenza di oltre il 15% inferiore rispetto a quella regionale, probabilmente dovuta anche alla forte tendenza di molte attività a chiudere.

3.4.4 Settore Agricoltura

Nel settore agricolo sia la Provincia che la CMA presentano dei consumi elettrici il cui peso per addetto sul totale dei consumi energetici è più che il doppio rispetto a quello regionale.

I consumi energetici per addetto del settore, nel periodo 1998-2001, evidenziano nella CMA un andamento altalenante, dovuto alle notevoli variazioni dell'occupazione causate dai relativi andamenti della produzione.

3.4.5 Settore Trasporti

I trasporti, dopo quello residenziale, rappresentano il settore più energivoro della CMA. I consumi totali dal 1993-2001 sono aumentati del 12.1%, con un incremento medio annuo del 1.5%.

3.4.6 Previsioni dei consumi finali di energia al 2010.

La Regione Emilia-Romagna nel Piano energetico Regionale (L.R. 26/2004) ha formulato due ipotesi di consumi finali di energia legati a due scenari di crescita del Prodotto Interno Lordo: crescita bassa (1.5% media annua) e crescita alta (2% media annua). Nelle tabelle 3.4.2 e 3.4.3 sono riportati i tassi percentuali di crescita previsti per i consumi nei diversi settori.

Tab. 3.4.2 Consumi finali regionali di energia al 2010 per settore e per fonte (ipotesi alta).

	Agricoltura e pesca. Δ% m.a.	Industria. Δ% m.a.	Residenziale. Δ% m.a.	Terziario e P.A. Δ% m.a.	Trasporti. Δ% m.a.	Totale. Δ% m.a.
Combustibili Fossili		-2.0	-0.7			-1.9
Combustibili Liquidi	+2.6	-1.7	-1.2	-1.3	+2.2	+1.7
Combustibili Gassosi	+3.7	+2.7	+2.6	+2.9	+2.3	+2.7
Energia Elettrica	+1.9	+2.2	+2.7	+3.4	+3.1	+2.6
Rinnovabili		-3.2	+2.1			+1.3
Totale	+2.5	+2.2	+2.2	+2.8	+2.2	+2.3

Tab. 3.4.3 Consumi finali regionali di energia al 2010 per settore e per fonte (ipotesi bassa).

	Agricoltura e pesca. Δ% m.a.	Industria. Δ% m.a.	Residenziale. Δ% m.a.	Terziario e P.A. Δ% m.a.	Trasporti. Δ% m.a.	Totale. Δ% m.a.
Combustibili Fossili		-2.6	-1.2			-2.5
Combustibili Liquidi	+1.2	-1.0	-2.4	-4.1	+0.9	+0.4
Combustibili Gassosi	+2.8	+1.0	+1.2	+1.1	+1.8	+1.2
Energia Elettrica	+0.8	+1.3	+1.8	+3.0	+2.1	+1.5
Rinnovabili		-4.3	+1.2			+0.4
Totale	+1.2	+0.7	+0.8	+1.2	+1.0	+0.9

Nell'ipotesi di crescita di PIL bassa i consumi totali di energia regionali al 2010 crescerebbero dello 0.9%, mentre nell'ipotesi di crescita alta la crescita sarebbe del 2.3%.

Per ciò che riguarda la Provincia di Forlì-Cesena e della CMA, sulla base delle sopra citate considerazioni, si avrebbero gli scenari riportati in tabella 3.4.4.

Tab. 3.4.4 Riepilogo aumenti per Provincia e CMA.

Settore	Provincia Forlì-Cesena			CMA		
	Anno 2001	Anno 2010- ipotesi A	Anno 2010- ipotesi B	Anno 2001	Anno 2010- ipotesi A	Anno 2010- ipotesi B
	Consumi in tep	Consumi in tep	Consumi in tep	Consumi in tep	Consumi in tep	Consumi in tep
Civile	254796	291331	304504	7389	8448	8830
Agricoltura	36668	41925	43821	1063	1215	1270
Terziario	114157	130525	136428	3310	3785	3956
Industria	116031	132668	138667	3364	3847	4021
Trasporti	203193	232328	242834	5892	6737	7042
Totale	724845	828777	866254	21020	24034	25121

Gli aumenti dei consumi energetici indicati sono quelli previsti in assenza di azioni di contenimento che potrebbero essere attuate.

3.4.7 Quadro emissivo della Regione Emilia-Romagna.

La Regione Emilia-Romagna nel 1998 ha emesso complessivamente 31.25 milioni di tonnellate di CO₂, collocandosi così al secondo posto, dopo la Lombardia, in termini di emissioni di CO₂, con circa il 10% delle emissioni totali nazionali.

Come già riferito, l'Italia, nel quadro degli accordi di Kyoto sulla riduzione delle di gas climalteranti, si è impegnata a ridurre del 6.5% le proprie emissioni entro il 2010-2012, rispetto ai livelli del 1990.

Se si dovesse ripartire equamente tra le regioni italiane l'impegno nazionale, per l'Emilia Romagna ciò comporterebbe la riduzione di 1.6 milioni di tonnellate di CO₂ rispetto alle emissioni di 24.8 Mton registrate nel 1990. In realtà, alla luce della crescita delle emissioni previste al 2010 la riduzione delle emissioni per la Regione Emilia-Romagna dovrebbe essere pari a 5.3-9.7 Mton. Per riportare lo sviluppo spontaneo del sistema entro valori in linea con gli obiettivi di Kyoto la Regione Emilia-Romagna intende ridurre le proprie emissioni di CO₂ al 2010 attivando politiche di:

- Uso razionale dell'energia
- Risparmio energetico
- Valorizzazione delle fonti rinnovabili
- Autoproduzione ed in particolare cogenerazione

3.5 Possibili profili e scenari di produzione e impiego di energie rinnovabili nell'area studio

Nell'ambito territoriale di competenza della CMA, le possibilità di realizzare impianti per la produzione di energia da fonte rinnovabile sono molteplici, ma non di grande entità produttiva. Questo limite è dettato dalle caratteristiche territoriali presenti e dalla scarsità degli effettivi spazi necessari per l'approvvigionamento cantieristico.

Va inoltre considerato che gli scenari di seguito descritti sono stati valutati a partire a quelle che sono le principali risorse presenti sul territorio utilizzando processi di facile applicabilità e sicura tecnologia.

Va poi sottolineato che l'interesse collettivo nella produzione di energia è soprattutto rivolto verso installazioni di proprietà delle amministrazioni locali e da queste gestite e al fine di massimizzare le produzioni per le quali sono necessarie notevoli dimensioni degli impianti. Inoltre si fa presente che a causa degli elevati tempi di ritorno degli investimenti in essere le amministrazioni sono le uniche realtà che possono accollarsi tali carichi economici, facendo sì che i benefici ricadano sulla comunità per un lasso di tempo definito dalla vita utile dell'impianto.

Tali benefici ricadenti sul territorio interessano sia aspetti legati alla promozione di figure professionali che svolgano funzioni tecniche e amministrative di supporto agli impianti di produzione di energia sia in termini economici rivolti alle amministrazioni locali come concessioni edilizie, royalties, concessioni d'uso e rifacimento di strutture di servizio di pubblica utilità.

Queste entrate economiche possono poi essere reinvestite in servizi utili alla popolazione al fine di creare condizioni di parità in termini di servizi alla pari dei residenti delle città capoluoghi di provincia.

3.5.1 Impianti FV

Il più semplice impianto per la produzione di energia è sicuramente quello che sfrutta l'energia solare per la produzione di elettricità ovvero i sistemi FV.

Come visto precedentemente, questi tipi di impianti non necessitano di particolari strutture di supporto se non le superfici di copertura degli edifici o spazi a terra sufficientemente irradiati dalla luce solare.

Inoltre risultano di facile realizzazione, infatti non sono necessari particolari approntamenti cantieristici, ma soprattutto sono impianti a completa autonomia che non necessitano di manutenzione in quanto non sono presenti componenti meccaniche di nessun genere.

La grande adattabilità di queste installazioni permette l'installazione su strutture civili (case private, alberghi, edifici residenziali), industriali e pubbliche (sedi di enti locali, strutture scolastiche,...).

Il limite alla distribuzione di queste tecnologie è il costo che attualmente è ancora elevato e la reperibilità dei pannelli provenienti principalmente dai mercati dei Paesi maggiori produttori di silicio fotovoltaico, Germania e Giappone.

Da alcuni anni le politiche regionali e nazionali hanno permesso ai singoli utilizzatori, pubblici e privati, di poter usufruire di incentivi, o sotto forma di tariffe di vendita alla rete particolarmente vantaggiosi o sotto forma di finanziamento a fondo perduto di parte dei costi di realizzazione delle opere.

Le prime esperienze in materia sono state realizzate attraverso finanziamenti regionali, con i quali era possibile coprire il costo dell'impianto pari al massimo al 70% comprensive di progettazione, collaudo e realizzazione, cedendo l'energia alla rete ad un prezzo pari a quello di acquisto ovvero 0,2 €/kWh e utilizzando un tipo di contratto di mutuo scambio; il dimensionamento era vincolato alla stima della media annua di consumo della struttura sulla quale doveva essere installato l'impianto, in quanto fino alla fine del 2004 non esistevano strumenti normativi che potessero giustificare la cessione alla rete di energia senza flussi di cassa.

Per queste ragioni fino a oggi il tipo di impianto più comune è stato di tipo familiare di potenza tra 1 e 3 kWp.

Recentemente il decreto del 28 luglio 2005, emanato dal Ministero delle Attività Produttive di concerto con il Ministero dell'Ambiente, introduce in Italia un nuovo incentivo, che remunera in conto energia, quindi non in conto capitale, l'energia elettrica prodotta da impianti solari immessa nella rete elettrica nazionale in funzione della potenza nominale del singolo impianto garantita per 20 anni. In questo modo chi vuole costruire un impianto fino 20 kW si vedrà riconosciuto un prezzo di 0,445 €/kWh per 20 anni, e potrà usufruire del contratto di scambio (energia prodotta nell'anno scambiata a prezzo nullo con energia consumata).

Per gli impianti di potenza compresa tra i 20 e i 50 kW, lo stato ha riconosciuto una sovvenzione di 0,46 €/kWh per 20 anni, inoltre l'energia verrà pagata secondo la delibera AEEG 34/05 ad un prezzo di 0,095 €/kWh. Per impianti di potenza compresa tra i 50 e 1000 kW l'importo della sovvenzione si decide in una gara al ribasso partendo da 0,49 €/kWh.

Il costo totale dell'impianto è stimato pari a 6000 €/kW. L'impianto viene finanziato con un mutuo che copre il 55% del costo dell'impianto. Il tasso interno di rendimento (IRR) è del 6.8%.

Una valutazione economica alternativa sul costo del kWh prodotto e sul costo dell'investimento fatto è la seguente:

$$C_{kWh} = \frac{C_i \cdot A + C_m}{E_{tot}} \quad A = \frac{r}{1 - (1 + r)^{-t}}$$

Dove:

C_i è il costo dell'investimento

A è il fattore di attualizzazione dell'investimento

C_m è il costo di manutenzione annuale (circa l'1% del costo dell'impianto)

t è il tempo di vita dell'impianto

r è il tasso di interesse reale

Nelle tabelle 3.5.1 e 3.5.2 sono riportati i valori di costi e ricavi relativi ad un impianto FV di cui è stata studiata la fattibilità, nell'ipotesi di potenza di picco di 50kW.

Tab. 3.5.1 Esempio di previsione di costi per un impianto FV

CALCOLO DEI COSTI PER UN IMPIANTO FV DI 50 kWp		
Superficie disponibile (su tetto a falda)	Mq	400
Superficie disponibile (su tetto piano)	Mq	800
Potenza impianto FV	kWp	50
Costo impianto FV al kWp	€/kWp	5500.00
Costo totale impianto FV esclusa IVA perché deducibile	€	275000.00
Finanziamento 100% 7 anni tasso EUR3M+1%	€	275000.00
Costo totale lordo	€	308980.00
Risparmio fiscale 36% (totale)	€	111232.80
Quota finale annua netta	€	28249.60

Tab. 3.5.2 Esempio di previsione dei ricavi per un impianto FV

RICAVI ED AMMORTAMENTI CON NORMATIVA CONTO ENERGIA		
Energia unitaria producibile stimata annua	(kWh/kWp)*anno	1300
Totale energia producibile stimata annua	kWh	65000
Ricavo unitario al kWh stimato vendita energia	€/kWh	0.46
Ricavo stimato totale annuo	€	29900.00
Rendimento energetico annuo dei pannelli		11%
Anni di ammortamento tenendo conto del risparmio fiscale	Anni	6.61
Ricavo totale vita stimata impianto (20 anni)	€	598000.00
Guadagno totale dopo 20 anni tenendo conto della deduzione fiscale e dell'affitto dell'area	€	400252.80

Il guadagno totale dopo 20 anni tiene conto degli oneri passivi, affitti delle superfici ospitanti e manutenzioni; l'effettivo ammontare dei guadagni reali deve tener conto di questa cifra depurata del costo totale lordo dell'impianto

Nella pratica, gli incentivi per la costruzione di impianti solari fotovoltaici vengono erogati a chiunque, cittadino, condominio o impresa, in cambio dell'energia prodotta, anziché contributi per installare i pannelli.

Per le ragioni viste sopra gli impianti più grandi realizzabili da enti pubblici o privati non possono superare i 50 kWp in quanto per impianti più grandi sono necessari superfici e capitali sproporzionati rispetto al ritorno economico ed energetico.

Le aree più idonee risultano essere in fondovalle dove l'ombreggiamento è minimo ma gli spazi minori.

Nelle tabelle 3.5.1 e 3.5.2 sono riportati i dati economici relativi ad un'ipotesi elaborata di realizzazione di un impianto FV nell'area studio.

3.5.2 Impianti Idroelettrici

Nei paesi in via di sviluppo esistono ancora molte possibilità per lo sfruttamento dell'energia idroelettrica.

In Italia invece e nella CMA ci sono solamente possibilità per lo sviluppo dei micro e mini idro (<1000 kW).

La CMA è attraversata da due corsi d'acqua principali, il Montone e il Tramazzo-Marzeno, entrambi a carattere prevalentemente torrentizio e caratterizzati da periodi siccitosi soprattutto tra giugno e settembre, mentre nei periodi di disponibilità della risorsa idrica si raggiunge il mc/s (turbinabile), con una media derivabile di 0,5 mc/s.

L'unico corso d'acqua che però giustifica un'installazione per la produzione di energia da fonte idroelettrica, motivata dalla oggettiva presenza di dislivelli sufficienti a garantirne il funzionamento è il fiume Montone fino al confine amministrativo del Comune di Portico e San Benedetto. Dopo tale punto il fiume è caratterizzato da un corso meno tortuoso con assenza di rilevanti salti idrici.

Nel presente lavoro viene studiata la fattibilità dell'installazione di due centrali micro-idroelettriche lungo il torrente Montone, presso le località Portico e Bocconi.

Vengono espone, con un breve richiamo alle fonti, le formule più note: utilizzabili per ottenere indicazioni intorno ai massimi valori attesi delle portate di piena, in mancanza di più esaurienti informazioni.

I processi di deduzione di queste formule che danno il contributo specifico q_{\max} di piena riferito alla superficie territoriale S e consentono di calcolare quindi la portata $Q_{\max} = S q_{\max}$, derivano da elaborazioni assai semplici di risultati sperimentali espressi in funzione dell'estensione S . Essi consistono nel tracciare nel piano q_{\max} , S una curva che inviluppi i casi osservati. Questi possono riguardare sia un bacino particolare e definito oppure un insieme di bacini: con una valutazione specifica, quindi, nel primo caso; estesa invece, nel secondo, a un più ampio territorio, con l'ovvia condizione che i corsi d'acqua considerati posseggano le affinità, climatica e idrogeologica, che li rendono in qualche modo simili fra loro. È appena necessario segnalare che l'affidabilità di queste determinazioni è tanto più solida quanto maggiore sia il numero dei casi osservati ed esteso il periodo di tempo entro il quale sono stati rilevati, ma anche quanto più contenuto sia l'ambito territoriale al quale le determinazioni si riferiscono.

Questo modo d'intendere e stimare le portate di piena può ritenersi concluso intorno agli anni '50; usato ancor oggi quando le stime siano frettolose e si propongano d'ottenere indicazioni piuttosto che valori su cui fondare la progettazione; oppure si voglia circoscrivere il campo dei valori possibili con la rassegna delle formule più note.

Per queste ragioni, l'uso di questi risultati richiede qualche cautela; ed, eventualmente, il confronto dei risultati stessi con quanto possa dedursi dalla valutazione obiettiva delle caratteristiche idrauliche del corso d'acqua considerato, note le sezioni e le pendenze di un tratto significativo, qualche sommario calcolo a moto uniforme o permanente. Tanto più che per queste formule, derivando da un passato non più prossimo, non sono sempre note le condizioni nelle quali furono determinate, talché l'analisi critica delle fonti, e quindi del loro impiego, non è generalmente agevole.

Le formule di questo tipo sono molto numerose. Esse non danno nessuna misura della frequenza probabile o tempo di ritorno delle portate che si ottengono, né indicazioni sulla forma dell'idrogramma o sui volumi.

Si espongono, in ordine cronologico di apparizione, le principali formule empiriche che forniscono il contributo specifico q_{\max} in $\text{m}^3/(\text{s km}^2)$ di piena in funzione dell'estensione S (km^2) del bacino. Whistler propose, nel 1919, la seguente formula:

$$q_{\max} = \frac{1538}{S + 259} + 0.054$$

che E. Scimemi, nel 1928, riscontrò essere applicabile ai corsi d'acqua italiani per S compresa tra 1.000 e 12.000 km^2 .

E. Scimemi, ancora nel 1928, per $S \leq 1.000$ km^2 , propose:

$$q_{\max} = \frac{600}{S + 10} + 1$$

Da A. Forti, nel 1920, si ebbero le proposte:

$$q_{\max} = 3.25 \cdot \frac{500}{S + 125} + 1$$

per bacini con $S \leq 1.000$ km^2 esposti a precipitazioni massime di circa 400 mm in 24 ore, mentre per piogge di circa 200/250 mm (24 ore) la formula fu:

$$q_{\max} = 2.35 \cdot \frac{500}{S + 125} + 0.50$$

F. Pagliaro, nel 1936, diede, per S tra 20 e 1.000 km^2 , la relazione:

$$q_{\max} = \frac{2900}{S + 90}$$

da usarsi, secondo l'Autore, per il calcolo del valore della portata massima da assumersi per i serbatoi: quindi con periodi di ritorno elevati. Essa fu, infatti, dedotta ragionando sulla piena che produsse il crollo di una delle due dighe di Sella Zerbino sul torrente Orba (bacino del Panaro) avvenuta nel 1935. La portata di piena fu stimata di 2280 m^3/s , con un contributo specifico di oltre 16 $\text{m}^3/(\text{s km}^2)$.

Un indirizzo lievemente diverso per il calcolo di q_{\max} utilizza una struttura monomia di dipendenza di q_{\max} da S del tipo:

$$q_{\max} = c \cdot S^{-n}$$

Le costanti c e n si determinano con facilità involupando o interpolando nel piano logaritmico con una retta i valori di q_{\max} al variare di S .

La prima formulazione di questo tipo è dovuta a L. Gherardelli (1939). Essa fu ottenuta elaborando qualche centinaio d'osservazioni (dell'allora Servizio Idrografico del Ministero dei Lavori Pubblici) di portate di piena relative a circa un trentennio d'osservazione. La struttura della formula è la seguente:

$$q_{\max} = q_{100} \cdot \left(\frac{S}{100} \right)^{-n}$$

essendo q_{100} il valore di q_{\max} per un bacino di 100 kmq. I valori dedotti dalla elaborazione furono:

- bacini prevalentemente impermeabili: $q_{100} = 2,8 / 20,5$; $n = 0,7$;

- bacini prevalentemente permeabili: $q_{100} = 0,2 / 9,5$; $n = 0,5$.

Può derivarsi ponendo $S = 100$ nella prima e ottenendo $c = q_{100} \cdot 100^n$. Un aggiornamento dei dati utilizzati da Gherardelli fu proposto, nel 1955, da G. Marchetti, con l'unificazione dell'esponente: posto, per tutti i corsi d'acqua, pari a $2/3$:

$$q_{\max} = q_{100} \cdot \left(\frac{S}{100} \right)^{-2/3}$$

Formulazione di Giandotti

L'espressione matematica tiene conto del tempo di ritorno e della linea segnalatrice:

$$Q_{\max} = 0.277 \cdot \lambda \cdot \phi \cdot \frac{a \cdot t_c^{n-1}}{k} \cdot S$$

dove ϕ rappresenta il coefficiente di deflusso, k il tempo di base dell'idrogramma di piena, a ed n sono i parametri della linea segnalatrice, t_c è il tempo di corrivazione.

Per la valutazione della portata massima nelle sezioni di interesse (tabelle 3.5.3 e 3.5.4), le stime speditive elaborate mediante i criteri sopra riportati sono state affinate facendo riferimento al calcolo prodotto dalla Autorità di Bacino dei Fiumi Romagnoli, che per tempo di ritorno pari a 30 anni prevede una piena pari a 271 mc/sec, nella sezioni n. 22-23 (Portico) e n. 524 sp (Bocconi). Pertanto si avrà una portata pari a 271 mc/s, con TR 30 anni.

Tab. 3.5.3 Calcoli della portata per il bacino del Montone nel sito Bocconi.

DETERMINAZIONE DI Qmax		Bacino del fiume Montone a Bocconi	
superficie del bacino [kmq]	43,78		
lunghezza del bacino [km]	13,83		
altitudine media del bacino [m]	599,00		
coefficiente di afflusso			
parametri linea segnalatrice	a		n
tempo di corrivazione	2,41		
fattore di forma			
tempo di base			
Scimemi	532,21		
Forti	313,70	465,29	
Pagliaro	NON APPLICABILE		
Gherardelli	607,46		
Autorità di Bacino	271,00	mc/s	

Tab. 3.5.4 Calcoli della portata per il bacino del Montone nel sito Portico.

DETERMINAZIONE DI Qmax Bacino del Montone a Portico

superficie del bacino [kmq]	62,00	
lunghezza del bacino [km]	18,38	
altitudine media del bacino [m]	565,00	
coefficiente di afflusso		
parametri linea segnalatrice	a	n
tempo di corrivazione	3,11	
fattore di forma		
tempo di base		
Scimemi	578,67	
Forti	403,99	600,77
Pagliaro	1200,00	
Gherardelli	682,16	
Autorità di Bacino	271,00	mc/s

Lo studio idrologico dell'area interessata è fondamentale per il dimensionamento delle componenti dell'impianto e per la determinazione dell'energia producibile nell'anno medio, sulla base della quale vengono effettuate le valutazioni economiche.

Il presente studio idrologico è stato fatto per ottenere una serie di dati affidabile, tale da costituire una solida base per valutare il sistema degli afflussi-deflussi della zona in esame.

Il procedimento ha avuto le seguenti fasi salienti:

- ✓ analisi dei dati;
- ✓ omogeneizzazione dei dati disponibili;
- ✓ calcolo delle portate affluenti alla sezioni interessate dalle opere;
- ✓ calcolo del DMV;
- ✓ calcolo dell'onda di massima piena.

Ricerca ed analisi dei dati disponibili

Punto iniziale per l'elaborazione è stata la ricerca dei dati disponibili. Si è fatto riferimento pertanto a :

- ✓ annali idrologici di misura delle portate a cura del servizio idrografico.
- ✓ pubblicazioni dell'Autorità di Bacino dei Fiumi Romagnoli, e dati del STB di FC e RA.

Superficie del bacino idrografico

Innanzitutto sono state misurate le aree del bacino comprendente le opere in progetto a partire da una analisi di tipo GIS.

Le aree calcolate risultano essere:

fiume Montone Bocconi sottobacino kmq 43.78;
fiume Montone Portico sottobacino kmq 62.00;

Dati idrologici storici

I dati ideologici storici sono stati raccolti ed elaborati dalla Autorità di Bacino dei fiumi Romagnoli, e organizzati secondo una curva di durata delle portate, per l'intero bacino idrografico del fiume

Montone. Tuttavia conducendo una similitudine idrologica, è stata valutata la curva di durata delle portate attraverso il metodo della regionalizzazione anche per i sottobacini del Montone, a monte della confluenza con il fiume Rabbi, rispettivamente nelle località di Portico e Bocconi.

Curva di durata delle portate

In numerosi casi pratici è necessario pervenire a valutazioni probabilistiche della portata di piena per sezioni fluviali del tutto prive di osservazioni dirette o con un numero molto ridotto delle stesse. In questi casi si ricorre a metodologie che sono note sotto la denominazione di metodi di regionalizzazione.

Il concetto che sta alla base di questi metodi è quello di similitudine idrologica; esso tiene conto del fatto che bacini idrografici con caratteristiche simili hanno comportamenti analoghi dal punto di vista idrologico. Questa similitudine può derivare dall' avere caratteristiche climatiche, idrografiche e morfologiche simili, dall'avere lo stesso tipo di suoli e di copertura vegetale. In generale la similitudine deriva da un insieme di fattori interrelati difficilmente distinguibili separatamente e si può riconoscere, tra bacini che dispongono di osservazioni dirette, l'esistenza di omogeneità tra le statiche campionarie. Come è intuitivo bacini contigui sono spesso anche idrologicamente simili; quindi le zone omogenee da un punto di vista idrologico hanno spesso una caratterizzazione di tipo geografico.

I metodi di regionalizzazione mirano all'accorpamento delle osservazioni dirette disponibili per i bacini di una zona omogenea allo scopo di utilizzarle per la definizione di un modello probabilistico comune che possa essere quindi applicabile anche ai bacini, appartenenti alla zona, privi di osservazioni.

Per i bacini del versante adriatico della Romagna si può assumere per il Montone q_{100} pari a 10 mc/s.Kmq, mentre per il Savio tale valore è compreso fra 6 e 8 mc/(s kmq).

La formula tarata, prima da Gherardelli e successivamente da Marchetti, utilizzando le massime piene registrate in bacini di tutta l'Italia, è valida per bacini di area superiore ai 5 km². Studi successivi del Mongiardini hanno mostrato come si ottengano migliori risultati se si utilizza un esponente per l'area pari a -1/2 al posto di -2/3, per i bacini al di sotto del Marecchia.

Il metodo di Gherardelli e Marchetti, pur essendo empirico ed avendo il difetto di non tenere in nessun conto la probabilità che è sempre associata ad un valore della portata di piena, consente in modo semplice di passare dalle portate osservate in un bacino A a quelle di un bacino B idrologicamente omogeneo attraverso la relazione:

$$Q_A = q_A \cdot S_A = Q_B \cdot \sqrt{\frac{S_A}{S_B}}$$

dove S_A e S_B sono le aree dei due bacini. Questo metodo fornisce buoni risultati quando si richiedono portate di tempo di ritorno non superiore ai 100 anni ed è particolarmente indicato quando si debbano ricostruire le portate in una sezione fluviale a partire da quelle misurate in un'altra sezione che sia un poco più a monte o più a valle sullo stesso corso d'acqua.

Negli ultimi decenni sono stati sviluppati metodi di regionalizzazione più sofisticati ed affidabili, basati sull'analisi probabilistica delle osservazioni. Numerosi di questi metodi si basano sul concetto di portata indice. La portata indice è un valore, caratteristico di ciascun bacino, della portata di piena indicativo della tendenza centrale della distribuzione di probabilità, cioè usualmente il valore medio, che può essere utilizzato per omogeneizzare le osservazioni di diversi bacini. Nella forma più semplice il metodo della portata indice si sviluppa nelle fasi seguenti:

- ✓ adimensionalizzazione di ogni campione di osservazioni dei bacini della zona, cioè divisione delle singole portate osservate per la portata indice (per esempio per la media campionaria di quel campione);
- ✓ accorpamento di tutti i campioni adimensionalizzati in un unico campione;
- ✓ individuazione della distribuzione di probabilità delle portate adimensionalizzate e suo adattamento a questo campione;
- ✓ individuazione di una relazione tra le portate indice e le caratteristiche geomorfologiche dei bacini (area, altitudine media, lunghezza dell'asta principale della rete idrografica, pendenza media, ecc.) che consenta la stima della portata indice e quindi l'applicabilità, della distribuzione di probabilità per la stima delle portate di piena anche per i bacini privi di osservazioni dirette.

E' bene osservare che i metodi di regionalizzazione, operando su una quantità di dati molto superiore a quella dell'analisi statistica tradizionale, consentono di ottenere stime più affidabili dal punto di vista probabilistico.

Tuttavia, questo approccio da seguire con cautela ed è da preferire solo nei casi in cui non si abbiano osservazioni locali dirette. Le incertezze, infatti, insite nella determinazione delle zone idrologicamente omogenee possono portare a stime regionalizzate non corrette, che derivano da osservazioni su bacini idrologicamente differenti. Inoltre, in ogni caso, la stima della portata indice può essere molto aleatoria se effettuata su scala regionale.

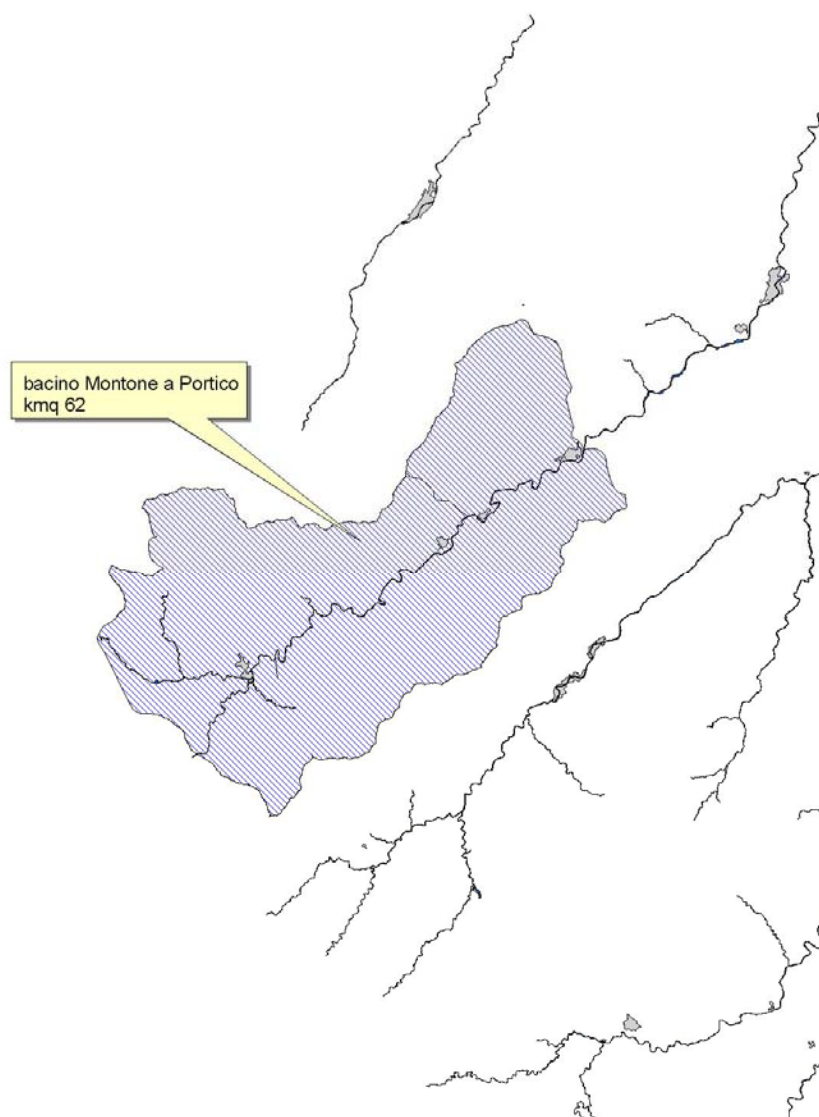


Fig. 3.5.1 Bacino del torrente Montone a Portico

Di seguito (tabella 3.5.5) sono riportate le elaborazioni effettuate attraverso la regionalizzazione dei corsi d'acqua, Sezione di Portico, con riferimento al bacino illustrato in figura 3.5.1.

Tab. 3.5.5 Dati di portata e deflusso minimo vitale (DMV) relativi al bacino del Montone, sezione di Portico.

Durata[gg] [gg]	Qg chiusura [m3/s]	Durata[%] [%]	Qg Portico [m3/s]	Q derivabile Portico Qg[m3/s]	DMV [m3/s]
1	86,23	0,9973	43,9699	1	42,97
2	71,11	0,9945	36,2600	1	35,26
3	63,7	0,9918	32,4815	1	31,48
4	58,05	0,9890	29,6005	1	28,60
5	50,64	0,9863	25,8221	1	24,82
6	47,86	0,9836	24,4045	1	23,40
7	42,89	0,9808	21,8702	1	20,87
8	39,54	0,9781	20,1620	1	19,16
9	35,13	0,9753	17,9133	1	16,91

10	33,2	0,9726	16,9292	1	15,93
11	31,8	0,9699	16,2153	1	15,22
12	28,23	0,9671	14,3949	1	13,39
13	27,09	0,9644	13,8136	1	12,81
14	25,77	0,9616	13,1405	1	12,14
15	24,75	0,9589	12,6204	1	11,62
16	23,5	0,9562	11,9830	1	10,98
17	21,59	0,9534	11,0090	1	10,01
18	20,46	0,9507	10,4328	1	9,43
19	19,81	0,9479	10,1014	1	9,10
20	19,46	0,9452	9,9229	1	8,92
21	18,81	0,9425	9,5915	1	8,59
22	18,19	0,9397	9,2753	1	8,28
23	17,43	0,9370	8,8878	1	7,89
24	16,93	0,9342	8,6328	1	7,63
25	16,73	0,9315	8,5309	1	7,53
26	16,3	0,9288	8,3116	1	7,31
27	16,11	0,9260	8,2147	1	7,21
28	15,69	0,9233	8,0006	1	7,00
29	15,17	0,9205	7,7354	1	6,74
30	14,59	0,9178	7,4396	1	6,44
31	14,29	0,9151	7,2867	1	6,29
32	13,83	0,9123	7,0521	1	6,05
33	12,98	0,9096	6,6187	1	5,62
34	12,42	0,9068	6,3331	1	5,33
35	12,18	0,9041	6,2108	1	5,21
36	12	0,9014	6,1190	1	5,12
37	11,89	0,8986	6,0629	1	5,06
38	11,58	0,8959	5,9048	1	4,90
39	11,35	0,8932	5,7875	1	4,79
40	11,11	0,8904	5,6651	1	4,67
41	10,88	0,8877	5,5479	1	4,55
42	10,58	0,8849	5,3949	1	4,39
43	10,14	0,8822	5,1705	1	4,17
44	10,03	0,8795	5,1144	1	4,11
45	9,87	0,8767	5,0329	1	4,03
46	9,46	0,8740	4,8238	1	3,82
47	9,37	0,8712	4,7779	1	3,78
48	9,29	0,8685	4,7371	1	3,74
49	9,07	0,8658	4,6249	1	3,62
50	8,95	0,8630	4,5637	1	3,56
51	8,84	0,8603	4,5076	1	3,51
52	8,81	0,8575	4,4923	1	3,49
53	8,67	0,8548	4,4210	1	3,42
54	8,56	0,8521	4,3649	1	3,36
55	8,36	0,8493	4,2629	1	3,26
56	8,08	0,8466	4,1201	1	3,12
57	7,97	0,8438	4,0640	1	3,06
58	7,82	0,8411	3,9875	1	2,99
59	7,67	0,8384	3,9110	1	2,91
60	7,48	0,8356	3,8142	1	2,81
61	7,43	0,8329	3,7887	1	2,79
62	7,22	0,8301	3,6816	1	2,68
63	7,13	0,8274	3,6357	1	2,64
64	7	0,8247	3,5694	1	2,57
65	6,95	0,8219	3,5439	1	2,54
66	6,89	0,8192	3,5133	1	2,51

67	6,79	0,8164	3,4623	1	2,46
68	6,7	0,8137	3,4164	1	2,42
69	6,61	0,8110	3,3705	1	2,37
70	6,55	0,8082	3,3399	1	2,34
71	6,41	0,8055	3,2686	1	2,27
72	6,32	0,8027	3,2227	1	2,22
73	6,24	0,8000	3,1819	1	2,18
74	6,07	0,7973	3,0952	1	2,10
75	5,99	0,7945	3,0544	1	2,05
76	5,96	0,7918	3,0391	1	2,04
77	5,84	0,7890	2,9779	1	1,98
78	5,78	0,7863	2,9473	1	1,95
79	5,73	0,7836	2,9218	1	1,92
80	5,67	0,7808	2,8912	1	1,89
81	5,58	0,7781	2,8453	1	1,85
82	5,54	0,7753	2,8249	1	1,82
83	5,42	0,7726	2,7637	1	1,76
84	5,33	0,7699	2,7178	1	1,72
85	5,27	0,7671	2,6872	1	1,69
86	5,19	0,7644	2,6465	1	1,65
87	5,09	0,7616	2,5955	1	1,60
88	5,05	0,7589	2,5751	1	1,58
89	4,96	0,7562	2,5292	1	1,53
90	4,91	0,7534	2,5037	1	1,50
91	4,84	0,7507	2,4680	1	1,47
92	4,78	0,7479	2,4374	1	1,44
93	4,68	0,7452	2,3864	1	1,39
94	4,63	0,7425	2,3609	1	1,36
95	4,6	0,7397	2,3456	1	1,35
96	4,57	0,7370	2,3303	1	1,33
97	4,51	0,7342	2,2997	1	1,30
98	4,45	0,7315	2,2691	1	1,27
99	4,42	0,7288	2,2538	1	1,25
100	4,39	0,7260	2,2385	1	1,24
101	4,35	0,7233	2,2181	0,8	1,42
102	4,32	0,7205	2,2028	0,8	1,40
103	4,25	0,7178	2,1671	0,8	1,37
104	4,19	0,7151	2,1365	0,8	1,34
105	4,17	0,7123	2,1263	0,8	1,33
106	4,14	0,7096	2,1110	0,8	1,31
107	4,09	0,7068	2,0855	0,8	1,29
108	4,05	0,7041	2,0652	0,8	1,27
109	4,03	0,7014	2,0550	0,8	1,25
110	4,01	0,6986	2,0448	0,8	1,24
111	3,98	0,6959	2,0295	0,8	1,23
112	3,92	0,6932	1,9989	0,8	1,20
113	3,9	0,6904	1,9887	0,8	1,19
114	3,84	0,6877	1,9581	0,8	1,16
115	3,82	0,6849	1,9479	0,8	1,15
116	3,8	0,6822	1,9377	0,8	1,14
117	3,78	0,6795	1,9275	0,8	1,13
118	3,77	0,6767	1,9224	0,8	1,12
119	3,7	0,6740	1,8867	0,8	1,09
120	3,67	0,6712	1,8714	0,8	1,07
121	3,63	0,6685	1,8510	0,8	1,05
122	3,59	0,6658	1,8306	0,8	1,03
123	3,57	0,6630	1,8204	0,8	1,02

124	3,53	0,6603	1,8000	0,8	1,00
125	3,5	0,6575	1,7847	0,8	0,98
126	3,48	0,6548	1,7745	0,8	0,97
127	3,47	0,6521	1,7694	0,8	0,97
128	3,45	0,6493	1,7592	0,8	0,96
129	3,43	0,6466	1,7490	0,8	0,95
130	3,41	0,6438	1,7388	0,8	0,94
131	3,38	0,6411	1,7235	0,8	0,92
132	3,36	0,6384	1,7133	0,8	0,91
133	3,33	0,6356	1,6980	0,8	0,90
134	3,3	0,6329	1,6827	0,8	0,88
135	3,28	0,6301	1,6725	0,8	0,87
136	3,25	0,6274	1,6572	0,8	0,86
137	3,19	0,6247	1,6266	0,8	0,83
138	3,16	0,6219	1,6113	0,8	0,81
139	3,13	0,6192	1,5960	0,8	0,80
140	3,11	0,6164	1,5858	0,8	0,79
141	3,09	0,6137	1,5756	0,8	0,78
142	3,08	0,6110	1,5705	0,8	0,77
143	3,06	0,6082	1,5603	0,8	0,76
144	3,04	0,6055	1,5501	0,8	0,75
145	3,03	0,6027	1,5450	0,8	0,75
146	3	0,6000	1,5297	0,8	0,73
147	2,99	0,5973	1,5246	0,8	0,72
148	2,97	0,5945	1,5144	0,8	0,71
149	2,95	0,5918	1,5042	0,8	0,70
150	2,93	0,5890	1,4940	0,5	0,99
151	2,92	0,5863	1,4889	0,5	0,99
152	2,91	0,5836	1,4839	0,5	0,98
153	2,9	0,5808	1,4788	0,5	0,98
154	2,88	0,5781	1,4686	0,5	0,97
155	2,87	0,5753	1,4635	0,5	0,96
156	2,86	0,5726	1,4584	0,5	0,96
157	2,85	0,5699	1,4533	0,5	0,95
158	2,84	0,5671	1,4482	0,5	0,95
159	2,82	0,5644	1,4380	0,5	0,94
160	2,81	0,5616	1,4329	0,5	0,93
161	2,8	0,5589	1,4278	0,5	0,93
162	2,78	0,5562	1,4176	0,5	0,92
163	2,77	0,5534	1,4125	0,5	0,91
164	2,76	0,5507	1,4074	0,5	0,91
165	2,76	0,5479	1,4074	0,5	0,91
166	2,74	0,5452	1,3972	0,5	0,90
167	2,73	0,5425	1,3921	0,5	0,89
168	2,71	0,5397	1,3819	0,5	0,88
169	2,7	0,5370	1,3768	0,5	0,88
170	2,69	0,5342	1,3717	0,5	0,87
171	2,69	0,5315	1,3717	0,5	0,87
172	2,68	0,5288	1,3666	0,5	0,87
173	2,67	0,5260	1,3615	0,5	0,86
174	2,67	0,5233	1,3615	0,5	0,86
175	2,66	0,5205	1,3564	0,5	0,86
176	2,66	0,5178	1,3564	0,5	0,86
177	2,65	0,5151	1,3513	0,5	0,85
178	2,65	0,5123	1,3513	0,5	0,85
179	2,64	0,5096	1,3462	0,5	0,85
180	2,63	0,5068	1,3411	0,5	0,84

181	2,62	0,5041	1,3360	0,5	0,84
182	2,61	0,5014	1,3309	0,5	0,83
183	2,6	0,4986	1,3258	0,5	0,83
184	2,6	0,4959	1,3258	0,5	0,83
185	2,58	0,4932	1,3156	0,5	0,82
186	2,58	0,4904	1,3156	0,5	0,82
187	2,57	0,4877	1,3105	0,5	0,81
188	2,56	0,4849	1,3054	0,5	0,81
189	2,55	0,4822	1,3003	0,5	0,80
190	2,54	0,4795	1,2952	0,5	0,80
191	2,54	0,4767	1,2952	0,5	0,80
192	2,52	0,4740	1,2850	0,5	0,78
193	2,51	0,4712	1,2799	0,5	0,78
194	2,5	0,4685	1,2748	0,5	0,77
195	2,49	0,4658	1,2697	0,5	0,77
196	2,48	0,4630	1,2646	0,5	0,76
197	2,48	0,4603	1,2646	0,5	0,76
198	2,46	0,4575	1,2544	0,5	0,75
199	2,46	0,4548	1,2544	0,5	0,75
200	2,45	0,4521	1,2493	0,5	0,75
201	2,44	0,4493	1,2442	0,5	0,74
202	2,44	0,4466	1,2442	0,5	0,74
203	2,42	0,4438	1,2340	0,5	0,73
204	2,41	0,4411	1,2289	0,5	0,73
205	2,4	0,4384	1,2238	0,5	0,72
206	2,39	0,4356	1,2187	0,5	0,72
207	2,39	0,4329	1,2187	0,5	0,72
208	2,38	0,4301	1,2136	0,5	0,71
209	2,37	0,4274	1,2085	0,5	0,71
210	2,36	0,4247	1,2034	0,5	0,70
211	2,35	0,4219	1,1983	0,5	0,70
212	2,34	0,4192	1,1932	0,5	0,69
213	2,33	0,4164	1,1881	0,5	0,69
214	2,33	0,4137	1,1881	0,5	0,69
215	2,32	0,4110	1,1830	0,5	0,68
216	2,31	0,4082	1,1779	0,5	0,68
217	2,31	0,4055	1,1779	0,5	0,68
218	2,3	0,4027	1,1728	0,5	0,67
219	2,29	0,4000	1,1677	0,5	0,67
220	2,27	0,3973	1,1575	0,5	0,66
221	2,27	0,3945	1,1575	0,5	0,66
222	2,27	0,3918	1,1575	0,5	0,66
223	2,26	0,3890	1,1524	0,5	0,65
224	2,26	0,3863	1,1524	0,5	0,65
225	2,25	0,3836	1,1473	0,5	0,65
226	2,24	0,3808	1,1422	0,5	0,64
227	2,23	0,3781	1,1371	0,5	0,64
228	2,22	0,3753	1,1320	0,5	0,63
229	2,22	0,3726	1,1320	0,5	0,63
230	2,21	0,3699	1,1269	0,5	0,63
231	2,21	0,3671	1,1269	0,5	0,63
232	2,2	0,3644	1,1218	0,5	0,62
233	2,2	0,3616	1,1218	0,5	0,62
234	2,2	0,3589	1,1218	0,5	0,62
235	2,19	0,3562	1,1167	0,5	0,62
236	2,18	0,3534	1,1116	0,5	0,61
237	2,18	0,3507	1,1116	0,5	0,61

238	2,17	0,3479	1,1065	0,5	0,61
239	2,15	0,3452	1,0963	0,5	0,60
240	2,14	0,3425	1,0912	0,5	0,59
241	2,14	0,3397	1,0912	0,5	0,59
242	2,13	0,3370	1,0861	0,5	0,59
243	2,13	0,3342	1,0861	0,5	0,59
244	2,13	0,3315	1,0861	0,5	0,59
245	2,12	0,3288	1,0810	0,5	0,58
246	2,11	0,3260	1,0759	0,5	0,58
247	2,1	0,3233	1,0708	0,5	0,57
248	2,09	0,3205	1,0657	0,5	0,57
249	2,09	0,3178	1,0657	0,5	0,57
250	2,09	0,3151	1,0657	0,5	0,57
251	2,08	0,3123	1,0606	0,5	0,56
252	2,07	0,3096	1,0555	0,5	0,56
253	2,06	0,3068	1,0504	0,5	0,55
254	2,06	0,3041	1,0504	0,5	0,55
255	2,05	0,3014	1,0453	0,5	0,55
256	2,05	0,2986	1,0453	0,5	0,55
257	2,04	0,2959	1,0402	0,5	0,54
258	2,03	0,2932	1,0351	0,5	0,54
259	2,03	0,2904	1,0351	0,5	0,54
260	2,02	0,2877	1,0300	0,5	0,53
261	2,02	0,2849	1,0300	0,5	0,53
262	2,01	0,2822	1,0249	0,5	0,52
263	2	0,2795	1,0198	0,5	0,52
264	2	0,2767	1,0198	0,5	0,52
265	1,99	0,2740	1,0147	0,5	0,51
266	1,99	0,2712	1,0147	0,5	0,51
267	1,98	0,2685	1,0096	0,5	0,51
268	1,98	0,2658	1,0096	0,5	0,51
269	1,97	0,2630	1,0045	0,5	0,50
270	1,96	0,2603	0,9994	0,5	0,50
271	1,96	0,2575	0,9994	0,2	0,80
272	1,95	0,2548	0,9943	0,2	0,79
273	1,94	0,2521	0,9892	0,2	0,79
274	1,94	0,2493	0,9892	0,2	0,79
275	1,93	0,2466	0,9841	0,2	0,78
276	1,92	0,2438	0,9790	0,2	0,78
277	1,91	0,2411	0,9739	0,2	0,77
278	1,91	0,2384	0,9739	0,2	0,77
279	1,9	0,2356	0,9688	0,2	0,77
280	1,89	0,2329	0,9637	0,2	0,76
281	1,88	0,2301	0,9586	0,2	0,76
282	1,86	0,2274	0,9484	0,2	0,75
283	1,85	0,2247	0,9433	0,2	0,74
284	1,85	0,2219	0,9433	0,2	0,74
285	1,84	0,2192	0,9382	0,2	0,74
286	1,83	0,2164	0,9331	0,2	0,73
287	1,83	0,2137	0,9331	0,2	0,73
288	1,82	0,2110	0,9280	0,2	0,73
289	1,81	0,2082	0,9229	0,2	0,72
290	1,8	0,2055	0,9178	0,2	0,72
291	1,79	0,2027	0,9127	0,2	0,71
292	1,78	0,2000	0,9076	0,2	0,71
293	1,78	0,1973	0,9076	0,2	0,71
294	1,77	0,1945	0,9025	0,2	0,70

295	1,76	0,1918	0,8974	0,2	0,70
296	1,76	0,1890	0,8974	0,2	0,70
297	1,75	0,1863	0,8924	0,2	0,69
298	1,74	0,1836	0,8873	0,2	0,69
299	1,73	0,1808	0,8822	0,2	0,68
300	1,72	0,1781	0,8771	0,2	0,68
301	1,72	0,1753	0,8771	0,2	0,68
302	1,71	0,1726	0,8720	0,2	0,67
303	1,69	0,1699	0,8618	0,2	0,66
304	1,69	0,1671	0,8618	0,2	0,66
305	1,68	0,1644	0,8567	0,2	0,66
306	1,66	0,1616	0,8465	0,2	0,65
307	1,65	0,1589	0,8414	0,2	0,64
308	1,65	0,1562	0,8414	0,2	0,64
309	1,64	0,1534	0,8363	0,2	0,64
310	1,64	0,1507	0,8363	0,2	0,64
311	1,63	0,1479	0,8312	0,2	0,63
312	1,62	0,1452	0,8261	0,2	0,63
313	1,61	0,1425	0,8210	0,2	0,62
314	1,61	0,1397	0,8210	0,2	0,62
315	1,6	0,1370	0,8159	0,2	0,62
316	1,59	0,1342	0,8108	0,2	0,61
317	1,59	0,1315	0,8108	0,2	0,61
318	1,58	0,1288	0,8057	0,2	0,61
319	1,57	0,1260	0,8006	0,2	0,60
320	1,56	0,1233	0,7955	0,2	0,60
321	1,56	0,1205	0,7955	0,2	0,60
322	1,55	0,1178	0,7904	0,2	0,59
323	1,54	0,1151	0,7853	0,2	0,59
324	1,53	0,1123	0,7802	0,2	0,58
325	1,52	0,1096	0,7751	0,2	0,58
326	1,52	0,1068	0,7751	0,2	0,58
327	1,5	0,1041	0,7649	0,2	0,56
328	1,49	0,1014	0,7598	0,2	0,56
329	1,48	0,0986	0,7547	0,2	0,55
330	1,48	0,0959	0,7547	0,2	0,55
331	1,47	0,0932	0,7496	0	0,75
332	1,45	0,0904	0,7394	0	0,74
333	1,45	0,0877	0,7394	0	0,74
334	1,45	0,0849	0,7394	0	0,74
335	1,44	0,0822	0,7343	0	0,73
336	1,43	0,0795	0,7292	0	0,73
337	1,42	0,0767	0,7241	0	0,72
338	1,41	0,0740	0,7190	0	0,72
339	1,4	0,0712	0,7139	0	0,71
340	1,4	0,0685	0,7139	0	0,71
341	1,39	0,0658	0,7088	0	0,71
342	1,39	0,0630	0,7088	0	0,71
343	1,39	0,0603	0,7088	0	0,71
344	1,38	0,0575	0,7037	0	0,70
345	1,37	0,0548	0,6986	0	0,70
346	1,37	0,0521	0,6986	0	0,70
347	1,36	0,0493	0,6935	0	0,69
348	1,34	0,0466	0,6833	0	0,68
349	1,33	0,0438	0,6782	0	0,68
350	1,33	0,0411	0,6782	0	0,68
351	1,31	0,0384	0,6680	0	0,67

352	1,31	0,0356	0,6680	0	0,67
353	1,28	0,0329	0,6527	0	0,65
354	1,27	0,0301	0,6476	0	0,65
355	1,26	0,0274	0,6425	0	0,64
356	1,25	0,0247	0,6374	0	0,64
357	1,24	0,0219	0,6323	0	0,63
358	1,22	0,0192	0,6221	0	0,62
359	1,2	0,0164	0,6119	0	0,61
360	1,18	0,0137	0,6017	0	0,60
361	1,14	0,0110	0,5813	0	0,58
362	1,12	0,0082	0,5711	0	0,57
363	1,09	0,0055	0,5558	0	0,56
364	1,01	0,0027	0,5150	0	0,52
365	0,73	0,0000	0,3722	0	0,37

Di seguito (figura 3.5.2) si è riportato l'andamento della produzione di energia elettrica sulla base della curva di durate delle portate per il corso d'acqua in questione.

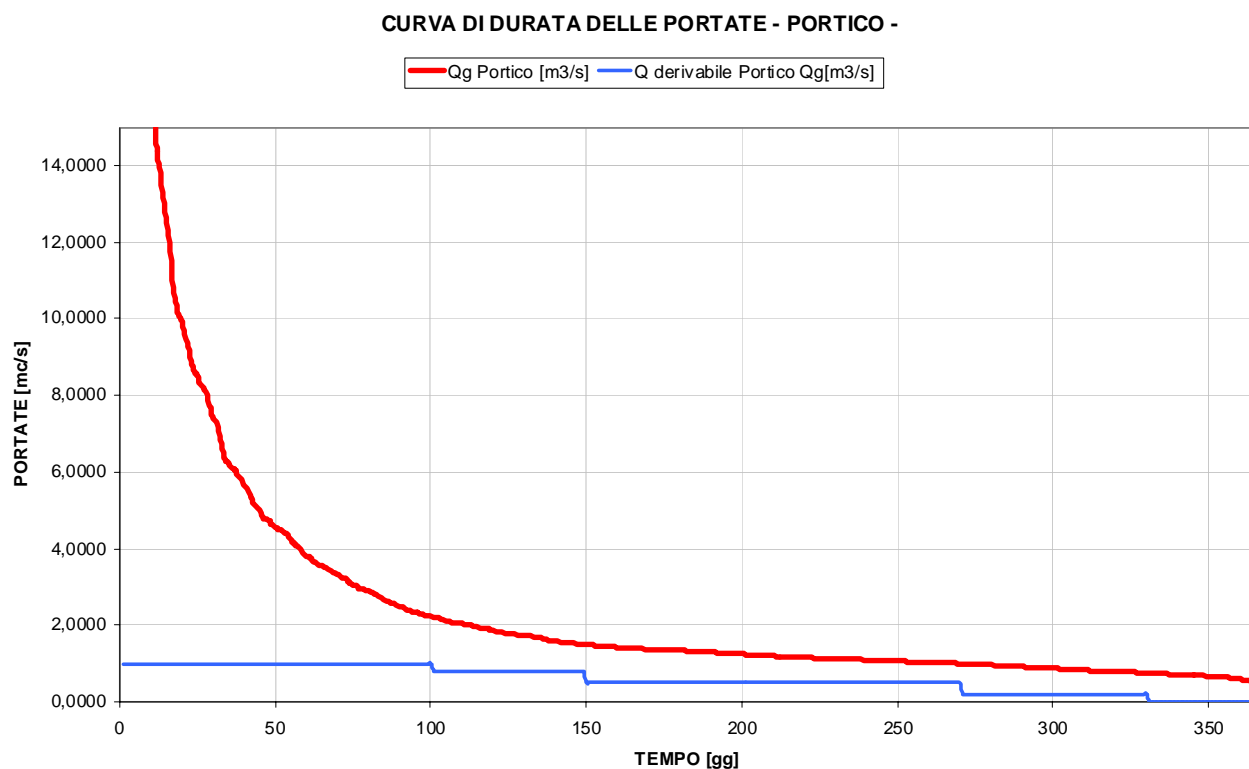


Fig. 3.5.2 Andamento delle portate nel fiume Montone sezione di Portico, portate derivate, ed energia giornaliera prodotta

Il salto geodetico è pari a 55 m, mentre le perdite di carico valutate con la espressione di Strikler ammontano a:

$$\Delta H = J \cdot L$$

L lunghezza della condotta

dove la cadente J assume il seguente significato:

$$J = \frac{Q^2}{A^2 \cdot k^2 \cdot R^{4/3}}$$

Q Portata m³/sec;

A Area Sezione m²;

k Coefficiente dimensionale di Strikler e dipende dalla scabrezza del materiale;

R raggio idraulico in m, ovvero area sezione diviso perimetro bagnato.

dove il coefficiente k può essere assunto pari a 95 per condotte in acciaio lisce e nuove.

Pertanto il salto netto sarà dato dalla differenza fra il salto geodetico e le perdite di carico distribuite:

$$H_u = H - JL$$

La potenza dell'impianto valutata con la formula del Ministero dell'Ambiente vale:

$$P = 9.81 \cdot \eta \cdot Q \cdot H$$

Indicando con η il rendimento dell'impianto.

Di seguito (tabella 3.5.6) viene rappresentato l'andamento giornaliero della produzione di energia, rappresentato in forma sintetica nel diagramma di figura 3.5.3.

Tab. 3.5.6 Andamento giornaliero di produzione di energia con impianto idroelettrico presso il bacino del Montone, località Portico.

Durata [gg]	Qg Portico [m3/s]	DMV Qg[m3/s]	Q derivabile Qg[m3/s]	Salto geodetico [m]	Diametro [m]	Lunghezza [m]	Salto netto [m]	Energia kw	Energia kwh
1	43,97	42,97	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
2	36,26	35,26	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
3	32,48	31,48	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
4	29,60	28,60	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
5	25,82	24,82	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
6	24,40	23,40	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
7	21,87	20,87	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
8	20,16	19,16	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
9	17,91	16,91	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
10	16,93	15,93	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
11	16,22	15,22	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
12	14,39	13,39	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
13	13,81	12,81	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
14	13,14	12,14	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
15	12,62	11,62	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
16	11,98	10,98	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
17	11,01	10,01	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
18	10,43	9,43	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
19	10,10	9,10	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
20	9,92	8,92	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
21	9,59	8,59	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
22	9,28	8,28	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
23	8,89	7,89	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
24	8,63	7,63	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
25	8,53	7,53	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43

26	8,31	7,31	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
27	8,21	7,21	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
28	8,00	7,00	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
29	7,74	6,74	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
30	7,44	6,44	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
31	7,29	6,29	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
32	7,05	6,05	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
33	6,62	5,62	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
34	6,33	5,33	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
35	6,21	5,21	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
36	6,12	5,12	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
37	6,06	5,06	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
38	5,90	4,90	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
39	5,79	4,79	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
40	5,67	4,67	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
41	5,55	4,55	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
42	5,39	4,39	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
43	5,17	4,17	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
44	5,11	4,11	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
45	5,03	4,03	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
46	4,82	3,82	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
47	4,78	3,78	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
48	4,74	3,74	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
49	4,62	3,62	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
50	4,56	3,56	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
51	4,51	3,51	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
52	4,49	3,49	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
53	4,42	3,42	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
54	4,36	3,36	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
55	4,26	3,26	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
56	4,12	3,12	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
57	4,06	3,06	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
58	3,99	2,99	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
59	3,91	2,91	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
60	3,81	2,81	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
61	3,79	2,79	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
62	3,68	2,68	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
63	3,64	2,64	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
64	3,57	2,57	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
65	3,54	2,54	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
66	3,51	2,51	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
67	3,46	2,46	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
68	3,42	2,42	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
69	3,37	2,37	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
70	3,34	2,34	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
71	3,27	2,27	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
72	3,22	2,22	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
73	3,18	2,18	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
74	3,10	2,10	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
75	3,05	2,05	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
76	3,04	2,04	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
77	2,98	1,98	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
78	2,95	1,95	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
79	2,92	1,92	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
80	2,89	1,89	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
81	2,85	1,85	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
82	2,82	1,82	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
83	2,76	1,76	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
84	2,72	1,72	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
85	2,69	1,69	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
86	2,65	1,65	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
87	2,60	1,60	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
88	2,58	1,58	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
89	2,53	1,53	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43

90	2,50	1,50	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
91	2,47	1,47	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
92	2,44	1,44	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
93	2,39	1,39	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
94	2,36	1,36	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
95	2,35	1,35	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
96	2,33	1,33	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
97	2,30	1,30	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
98	2,27	1,27	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
99	2,25	1,25	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
100	2,24	1,24	1	4,51	1	110	4,38	36,56	877,43
101	2,22	1,42	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
102	2,20	1,40	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
103	2,17	1,37	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
104	2,14	1,34	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
105	2,13	1,33	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
106	2,11	1,31	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
107	2,09	1,29	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
108	2,07	1,27	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
109	2,05	1,25	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
110	2,04	1,24	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
111	2,03	1,23	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
112	2,00	1,20	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
113	1,99	1,19	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
114	1,96	1,16	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
115	1,95	1,15	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
116	1,94	1,14	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
117	1,93	1,13	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
118	1,92	1,12	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
119	1,89	1,09	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
120	1,87	1,07	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
121	1,85	1,05	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
122	1,83	1,03	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
123	1,82	1,02	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
124	1,80	1,00	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
125	1,78	0,98	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
126	1,77	0,97	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
127	1,77	0,97	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
128	1,76	0,96	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
129	1,75	0,95	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
130	1,74	0,94	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
131	1,72	0,92	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
132	1,71	0,91	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
133	1,70	0,90	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
134	1,68	0,88	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
135	1,67	0,87	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
136	1,66	0,86	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
137	1,63	0,83	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
138	1,61	0,81	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
139	1,60	0,80	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
140	1,59	0,79	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
141	1,58	0,78	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
142	1,57	0,77	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
143	1,56	0,76	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
144	1,55	0,75	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
145	1,55	0,75	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
146	1,53	0,73	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
147	1,52	0,72	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
148	1,51	0,71	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
149	1,50	0,70	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
150	1,49	0,69	0,8	4,51	1	110	4,43	29,55	709,18
151	1,49	0,99	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
152	1,48	0,98	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
153	1,48	0,98	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14

154	1,47	0,97	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
155	1,46	0,96	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
156	1,46	0,96	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
157	1,45	0,95	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
158	1,45	0,95	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
159	1,44	0,94	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
160	1,43	0,93	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
161	1,43	0,93	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
162	1,42	0,92	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
163	1,41	0,91	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
164	1,41	0,91	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
165	1,41	0,91	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
166	1,40	0,90	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
167	1,39	0,89	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
168	1,38	0,88	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
169	1,38	0,88	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
170	1,37	0,87	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
171	1,37	0,87	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
172	1,37	0,87	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
173	1,36	0,86	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
174	1,36	0,86	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
175	1,36	0,86	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
176	1,36	0,86	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
177	1,35	0,85	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
178	1,35	0,85	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
179	1,35	0,85	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
180	1,34	0,84	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
181	1,34	0,84	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
182	1,33	0,83	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
183	1,33	0,83	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
184	1,33	0,83	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
185	1,32	0,82	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
186	1,32	0,82	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
187	1,31	0,81	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
188	1,31	0,81	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
189	1,30	0,80	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
190	1,30	0,80	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
191	1,30	0,80	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
192	1,28	0,78	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
193	1,28	0,78	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
194	1,27	0,77	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
195	1,27	0,77	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
196	1,26	0,76	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
197	1,26	0,76	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
198	1,25	0,75	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14

218	1,17	0,67	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
219	1,17	0,67	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
220	1,16	0,66	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
221	1,16	0,66	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
222	1,16	0,66	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
223	1,15	0,65	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
224	1,15	0,65	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
225	1,15	0,65	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
226	1,14	0,64	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
227	1,14	0,64	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
228	1,13	0,63	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
229	1,13	0,63	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
230	1,13	0,63	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
231	1,13	0,63	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
232	1,12	0,62	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
233	1,12	0,62	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
234	1,12	0,62	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
235	1,12	0,62	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
236	1,11	0,61	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
237	1,11	0,61	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
238	1,11	0,61	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
239	1,10	0,60	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
240	1,09	0,59	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
241	1,09	0,59	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
242	1,09	0,59	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
243	1,09	0,59	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
244	1,09	0,59	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
245	1,08	0,58	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
246	1,08	0,58	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
247	1,07	0,57	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
248	1,07	0,57	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
249	1,07	0,57	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
250	1,07	0,57	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
251	1,06	0,56	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
252	1,06	0,56	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
253	1,05	0,55	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
254	1,05	0,55	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
255	1,05	0,55	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
256	1,05	0,55	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
257	1,04	0,54	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
258	1,04	0,54	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
259	1,04	0,54	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
260	1,03	0,53	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
261	1,03	0,53	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14
262	1,02	0,52	0,5	4,51	1	110	4,48	18,67	448,14

282	0,95	0,75	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
283	0,94	0,74	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
284	0,94	0,74	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
285	0,94	0,74	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
286	0,93	0,73	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
287	0,93	0,73	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
288	0,93	0,73	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
289	0,92	0,72	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
290	0,92	0,72	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
291	0,91	0,71	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
292	0,91	0,71	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
293	0,91	0,71	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
294	0,90	0,70	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
295	0,90	0,70	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
296	0,90	0,70	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
297	0,89	0,69	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
298	0,89	0,69	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
299	0,88	0,68	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
300	0,88	0,68	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
301	0,88	0,68	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
302	0,87	0,67	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
303	0,86	0,66	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
304	0,86	0,66	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
305	0,86	0,66	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
306	0,85	0,65	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
307	0,84	0,64	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
308	0,84	0,64	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
309	0,84	0,64	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
310	0,84	0,64	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
311	0,83	0,63	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
312	0,83	0,63	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
313	0,82	0,62	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
314	0,82	0,62	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
315	0,82	0,62	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
316	0,81	0,61	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
317	0,81	0,61	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
318	0,81	0,61	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
319	0,80	0,60	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
320	0,80	0,60	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
321	0,80	0,60	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
322	0,79	0,59	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
323	0,79	0,59	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
324	0,78	0,58	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
325	0,78	0,58	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
326	0,78	0,58	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
327	0,76	0,56	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
328	0,76	0,56	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
329	0,75	0,55	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
330	0,75	0,55	0,2	4,51	1	110	4,50	7,51	180,31
331	0,75	0,75	0	4,51	1	110	4,51	0,00	0,00
332	0,74	0,74	0	4,51	1	110	4,51	0,00	0,00
333	0,74	0,74	0	4,51	1	110	4,51	0,00	0,00
334	0,74	0,74	0	4,51	1	110	4,51	0,00	0,00
335	0,73	0,73	0	4,51	1	110	4,51	0,00	0,00
336	0,73	0,73	0	4,51	1	110	4,51	0,00	0,00
337	0,72	0,72	0	4,51	1	110	4,51	0,00	0,00
338	0,72	0,72	0	4,51	1	110	4,51	0,00	0,00
339	0,71	0,71	0	4,51	1	110	4,51	0,00	0,00
340	0,71	0,71	0	4,51	1	110	4,51	0,00	0,00
341	0,71	0,71	0	4,51	1	110	4,51	0,00	0,00
342	0,71	0,71	0	4,51	1	110	4,51	0,00	0,00
343	0,71	0,71	0	4,51	1	110	4,51	0,00	0,00
344	0,70	0,70	0	4,51	1	110	4,51	0,00	0,00
345	0,70	0,70	0	4,51	1	110	4,51	0,00	0,00

346	0,70	0,70	0	4,51	1	110	4,51	0,00	0,00
347	0,69	0,69	0	4,51	1	110	4,51	0,00	0,00
348	0,68	0,68	0	4,51	1	110	4,51	0,00	0,00
349	0,68	0,68	0	4,51	1	110	4,51	0,00	0,00
350	0,68	0,68	0	4,51	1	110	4,51	0,00	0,00
351	0,67	0,67	0	4,51	1	110	4,51	0,00	0,00
352	0,67	0,67	0	4,51	1	110	4,51	0,00	0,00
353	0,65	0,65	0	4,51	1	110	4,51	0,00	0,00
354	0,65	0,65	0	4,51	1	110	4,51	0,00	0,00
355	0,64	0,64	0	4,51	1	110	4,51	0,00	0,00
356	0,64	0,64	0	4,51	1	110	4,51	0,00	0,00
357	0,63	0,63	0	4,51	1	110	4,51	0,00	0,00
358	0,62	0,62	0	4,51	1	110	4,51	0,00	0,00
359	0,61	0,61	0	4,51	1	110	4,51	0,00	0,00
360	0,60	0,60	0	4,51	1	110	4,51	0,00	0,00
361	0,58	0,58	0	4,51	1	110	4,51	0,00	0,00
362	0,57	0,57	0	4,51	1	110	4,51	0,00	0,00
363	0,56	0,56	0	4,51	1	110	4,51	0,00	0,00
364	0,52	0,52	0	4,51	1	110	4,51	0,00	0,00
365	0,37	0,37	0	4,51	1	110	4,51	0,00	0,00
								Totale	187.797

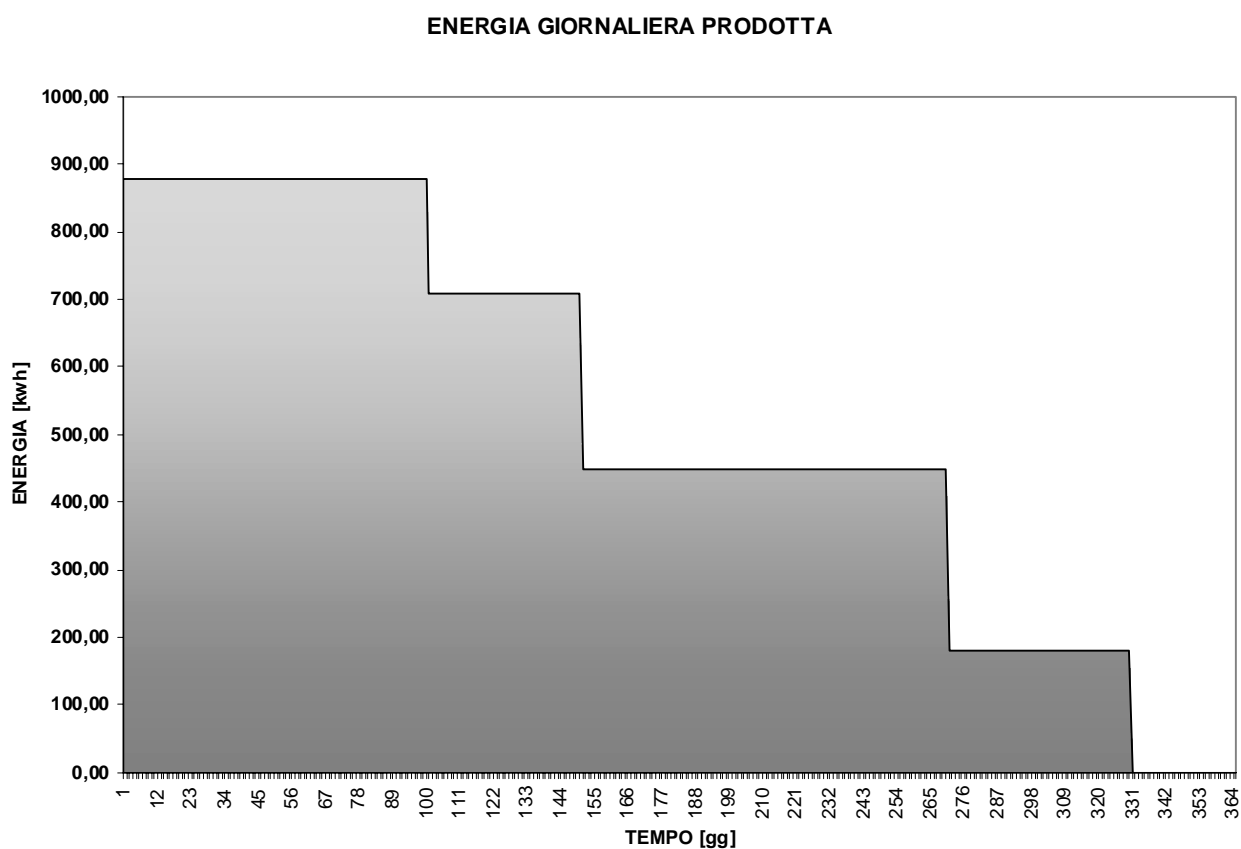


Fig. 3.5.3 Diagramma annuale dell'energia prodotta

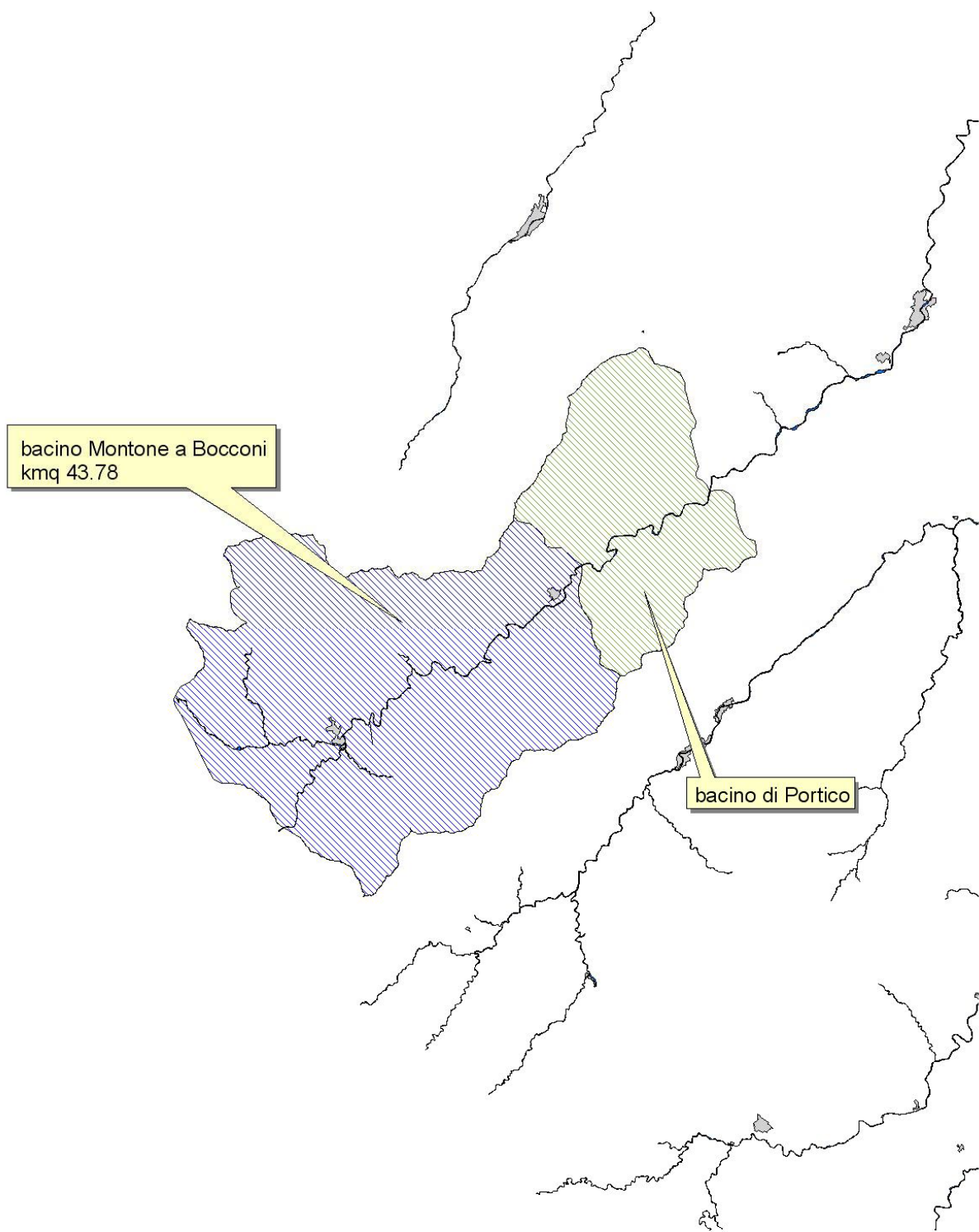


Fig. 3.5.4 Bacino idrografico relativo al salto idraulico sfruttabile in località Bocconi.

Di seguito (tabella 3.5.7) sono riportate le elaborazioni effettuate attraverso la regionalizzazione dei corsi d'acqua, con riferimento alla sezione di Bocconi e al relativo bacino, illustrato in figura 3.5.4.

Tab. 3.5.7 Dati di portata e deflusso minimo vitale (DMV) relativi al bacino del Montone, sezione di Bocconi.

Durata[gg] [gg]	Qgiornal[m3/s] [m3/s]	Durata[%] [%]	Qg Bocconi [m3/s]	Q derivabile Bocconi Qg[m3/s]	DMV [m3/s]
1	86,23	0,9973	36,9486	0,5	36,45
2	71,11	0,9945	30,4698	0,5	29,97
3	63,7	0,9918	27,2947	0,5	26,79
4	58,05	0,9890	24,8738	0,5	24,37
5	50,64	0,9863	21,6987	0,5	21,20
6	47,86	0,9836	20,5075	0,5	20,01
7	42,89	0,9808	18,3779	0,5	17,88
8	39,54	0,9781	16,9424	0,5	16,44
9	35,13	0,9753	15,0528	0,5	14,55
10	33,2	0,9726	14,2258	0,5	13,73
11	31,8	0,9699	13,6259	0,5	13,13
12	28,23	0,9671	12,0962	0,5	11,60
13	27,09	0,9644	11,6078	0,5	11,11
14	25,77	0,9616	11,0421	0,5	10,54
15	24,75	0,9589	10,6051	0,5	10,11
16	23,5	0,9562	10,0695	0,5	9,57
17	21,59	0,9534	9,2511	0,5	8,75
18	20,46	0,9507	8,7669	0,5	8,27
19	19,81	0,9479	8,4884	0,5	7,99
20	19,46	0,9452	8,3384	0,5	7,84
21	18,81	0,9425	8,0599	0,5	7,56
22	18,19	0,9397	7,7942	0,5	7,29
23	17,43	0,9370	7,4686	0,5	6,97
24	16,93	0,9342	7,2543	0,5	6,75
25	16,73	0,9315	7,1686	0,5	6,67
26	16,3	0,9288	6,9844	0,5	6,48
27	16,11	0,9260	6,9030	0,5	6,40
28	15,69	0,9233	6,7230	0,5	6,22
29	15,17	0,9205	6,5002	0,5	6,00
30	14,59	0,9178	6,2516	0,5	5,75
31	14,29	0,9151	6,1231	0,5	5,62
32	13,83	0,9123	5,9260	0,5	5,43
33	12,98	0,9096	5,5618	0,5	5,06
34	12,42	0,9068	5,3218	0,5	4,82
35	12,18	0,9041	5,2190	0,5	4,72
36	12	0,9014	5,1419	0,5	4,64
37	11,89	0,8986	5,0947	0,5	4,59
38	11,58	0,8959	4,9619	0,5	4,46
39	11,35	0,8932	4,8633	0,5	4,36
40	11,11	0,8904	4,7605	0,5	4,26
41	10,88	0,8877	4,6620	0,5	4,16
42	10,58	0,8849	4,5334	0,5	4,03
43	10,14	0,8822	4,3449	0,5	3,84
44	10,03	0,8795	4,2977	0,5	3,80
45	9,87	0,8767	4,2292	0,5	3,73
46	9,46	0,8740	4,0535	0,5	3,55
47	9,37	0,8712	4,0149	0,5	3,51
48	9,29	0,8685	3,9807	0,5	3,48
49	9,07	0,8658	3,8864	0,5	3,39
50	8,95	0,8630	3,8350	0,5	3,33
51	8,84	0,8603	3,7878	0,5	3,29

52	8,81	0,8575	3,7750	0,5	3,27
53	8,67	0,8548	3,7150	0,5	3,21
54	8,56	0,8521	3,6679	0,5	3,17
55	8,36	0,8493	3,5822	0,5	3,08
56	8,08	0,8466	3,4622	0,5	2,96
57	7,97	0,8438	3,4151	0,5	2,92
58	7,82	0,8411	3,3508	0,5	2,85
59	7,67	0,8384	3,2865	0,5	2,79
60	7,48	0,8356	3,2051	0,5	2,71
61	7,43	0,8329	3,1837	0,5	2,68
62	7,22	0,8301	3,0937	0,5	2,59
63	7,13	0,8274	3,0551	0,5	2,56
64	7	0,8247	2,9994	0,5	2,50
65	6,95	0,8219	2,9780	0,5	2,48
66	6,89	0,8192	2,9523	0,5	2,45
67	6,79	0,8164	2,9094	0,5	2,41
68	6,7	0,8137	2,8709	0,5	2,37
69	6,61	0,8110	2,8323	0,5	2,33
70	6,55	0,8082	2,8066	0,5	2,31
71	6,41	0,8055	2,7466	0,5	2,25
72	6,32	0,8027	2,7080	0,5	2,21
73	6,24	0,8000	2,6738	0,5	2,17
74	6,07	0,7973	2,6009	0,5	2,10
75	5,99	0,7945	2,5666	0,5	2,07
76	5,96	0,7918	2,5538	0,5	2,05
77	5,84	0,7890	2,5024	0,5	2,00
78	5,78	0,7863	2,4767	0,5	1,98
79	5,73	0,7836	2,4552	0,5	1,96
80	5,67	0,7808	2,4295	0,5	1,93
81	5,58	0,7781	2,3910	0,5	1,89
82	5,54	0,7753	2,3738	0,5	1,87
83	5,42	0,7726	2,3224	0,5	1,82
84	5,33	0,7699	2,2838	0,5	1,78
85	5,27	0,7671	2,2581	0,5	1,76
86	5,19	0,7644	2,2239	0,5	1,72
87	5,09	0,7616	2,1810	0,5	1,68
88	5,05	0,7589	2,1639	0,5	1,66
89	4,96	0,7562	2,1253	0,5	1,63
90	4,91	0,7534	2,1039	0,5	1,60
91	4,84	0,7507	2,0739	0,5	1,57
92	4,78	0,7479	2,0482	0,5	1,55
93	4,68	0,7452	2,0053	0,5	1,51
94	4,63	0,7425	1,9839	0,5	1,48
95	4,6	0,7397	1,9710	0,5	1,47
96	4,57	0,7370	1,9582	0,5	1,46
97	4,51	0,7342	1,9325	0,5	1,43
98	4,45	0,7315	1,9068	0,5	1,41
99	4,42	0,7288	1,8939	0,5	1,39
100	4,39	0,7260	1,8811	0,5	1,38
101	4,35	0,7233	1,8639	0,5	1,36
102	4,32	0,7205	1,8511	0,5	1,35
103	4,25	0,7178	1,8211	0,5	1,32
104	4,19	0,7151	1,7954	0,5	1,30
105	4,17	0,7123	1,7868	0,5	1,29
106	4,14	0,7096	1,7739	0,5	1,27
107	4,09	0,7068	1,7525	0,5	1,25
108	4,05	0,7041	1,7354	0,5	1,24

109	4,03	0,7014	1,7268	0,5	1,23
110	4,01	0,6986	1,7182	0,5	1,22
111	3,98	0,6959	1,7054	0,5	1,21
112	3,92	0,6932	1,6797	0,5	1,18
113	3,9	0,6904	1,6711	0,5	1,17
114	3,84	0,6877	1,6454	0,5	1,15
115	3,82	0,6849	1,6368	0,5	1,14
116	3,8	0,6822	1,6283	0,5	1,13
117	3,78	0,6795	1,6197	0,5	1,12
118	3,77	0,6767	1,6154	0,5	1,12
119	3,7	0,6740	1,5854	0,5	1,09
120	3,67	0,6712	1,5726	0,5	1,07
121	3,63	0,6685	1,5554	0,5	1,06
122	3,59	0,6658	1,5383	0,5	1,04
123	3,57	0,6630	1,5297	0,5	1,03
124	3,53	0,6603	1,5126	0,5	1,01
125	3,5	0,6575	1,4997	0,5	1,00
126	3,48	0,6548	1,4911	0,5	0,99
127	3,47	0,6521	1,4869	0,5	0,99
128	3,45	0,6493	1,4783	0,5	0,98
129	3,43	0,6466	1,4697	0,5	0,97
130	3,41	0,6438	1,4611	0,5	0,96
131	3,38	0,6411	1,4483	0,5	0,95
132	3,36	0,6384	1,4397	0,5	0,94
133	3,33	0,6356	1,4269	0,5	0,93
134	3,3	0,6329	1,4140	0,5	0,91
135	3,28	0,6301	1,4054	0,5	0,91
136	3,25	0,6274	1,3926	0,5	0,89
137	3,19	0,6247	1,3669	0,5	0,87
138	3,16	0,6219	1,3540	0,5	0,85
139	3,13	0,6192	1,3412	0,5	0,84
140	3,11	0,6164	1,3326	0,5	0,83
141	3,09	0,6137	1,3240	0,5	0,82
142	3,08	0,6110	1,3197	0,5	0,82
143	3,06	0,6082	1,3112	0,5	0,81
144	3,04	0,6055	1,3026	0,5	0,80
145	3,03	0,6027	1,2983	0,5	0,80
146	3	0,6000	1,2855	0,5	0,79
147	2,99	0,5973	1,2812	0,5	0,78
148	2,97	0,5945	1,2726	0,5	0,77
149	2,95	0,5918	1,2640	0,5	0,76
150	2,93	0,5890	1,2555	0,5	0,76
151	2,92	0,5863	1,2512	0,5	0,75
152	2,91	0,5836	1,2469	0,5	0,75
153	2,9	0,5808	1,2426	0,5	0,74
154	2,88	0,5781	1,2340	0,5	0,73
155	2,87	0,5753	1,2298	0,5	0,73
156	2,86	0,5726	1,2255	0,5	0,73
157	2,85	0,5699	1,2212	0,5	0,72
158	2,84	0,5671	1,2169	0,5	0,72
159	2,82	0,5644	1,2083	0,5	0,71
160	2,81	0,5616	1,2041	0,5	0,70
161	2,8	0,5589	1,1998	0,5	0,70
162	2,78	0,5562	1,1912	0,5	0,69
163	2,77	0,5534	1,1869	0,5	0,69
164	2,76	0,5507	1,1826	0,5	0,68
165	2,76	0,5479	1,1826	0,5	0,68

166	2,74	0,5452	1,1741	0,5	0,67
167	2,73	0,5425	1,1698	0,5	0,67
168	2,71	0,5397	1,1612	0,5	0,66
169	2,7	0,5370	1,1569	0,5	0,66
170	2,69	0,5342	1,1526	0,5	0,65
171	2,69	0,5315	1,1526	0,5	0,65
172	2,68	0,5288	1,1483	0,5	0,65
173	2,67	0,5260	1,1441	0,5	0,64
174	2,67	0,5233	1,1441	0,5	0,64
175	2,66	0,5205	1,1398	0,5	0,64
176	2,66	0,5178	1,1398	0,5	0,64
177	2,65	0,5151	1,1355	0,5	0,64
178	2,65	0,5123	1,1355	0,5	0,64
179	2,64	0,5096	1,1312	0,5	0,63
180	2,63	0,5068	1,1269	0,5	0,63
181	2,62	0,5041	1,1226	0,5	0,62
182	2,61	0,5014	1,1184	0,5	0,62
183	2,6	0,4986	1,1141	0,5	0,61
184	2,6	0,4959	1,1141	0,5	0,61
185	2,58	0,4932	1,1055	0,5	0,61
186	2,58	0,4904	1,1055	0,5	0,61
187	2,57	0,4877	1,1012	0,5	0,60
188	2,56	0,4849	1,0969	0,5	0,60
189	2,55	0,4822	1,0926	0,5	0,59
190	2,54	0,4795	1,0884	0,5	0,59
191	2,54	0,4767	1,0884	0,5	0,59
192	2,52	0,4740	1,0798	0,5	0,58
193	2,51	0,4712	1,0755	0,5	0,58
194	2,5	0,4685	1,0712	0,5	0,57
195	2,49	0,4658	1,0669	0,5	0,57
196	2,48	0,4630	1,0627	0,5	0,56
197	2,48	0,4603	1,0627	0,5	0,56
198	2,46	0,4575	1,0541	0,5	0,55
199	2,46	0,4548	1,0541	0,5	0,55
200	2,45	0,4521	1,0498	0,5	0,55
201	2,44	0,4493	1,0455	0,5	0,55
202	2,44	0,4466	1,0455	0,5	0,55
203	2,42	0,4438	1,0369	0,5	0,54
204	2,41	0,4411	1,0327	0,5	0,53
205	2,4	0,4384	1,0284	0,5	0,53
206	2,39	0,4356	1,0241	0,5	0,52
207	2,39	0,4329	1,0241	0,5	0,52
208	2,38	0,4301	1,0198	0,5	0,52
209	2,37	0,4274	1,0155	0,5	0,52
210	2,36	0,4247	1,0112	0,5	0,51
211	2,35	0,4219	1,0069	0,5	0,51
212	2,34	0,4192	1,0027	0,5	0,50
213	2,33	0,4164	0,9984	0,5	0,50
214	2,33	0,4137	0,9984	0,5	0,50
215	2,32	0,4110	0,9941	0,5	0,49
216	2,31	0,4082	0,9898	0,5	0,49
217	2,31	0,4055	0,9898	0,5	0,49
218	2,3	0,4027	0,9855	0,5	0,49
219	2,29	0,4000	0,9812	0,5	0,48
220	2,27	0,3973	0,9727	0,5	0,47
221	2,27	0,3945	0,9727	0,5	0,47
222	2,27	0,3918	0,9727	0,5	0,47

223	2,26	0,3890	0,9684	0,5	0,47
224	2,26	0,3863	0,9684	0,5	0,47
225	2,25	0,3836	0,9641	0,5	0,46
226	2,24	0,3808	0,9598	0,5	0,46
227	2,23	0,3781	0,9555	0,5	0,46
228	2,22	0,3753	0,9512	0,5	0,45
229	2,22	0,3726	0,9512	0,5	0,45
230	2,21	0,3699	0,9470	0,5	0,45
231	2,21	0,3671	0,9470	0,5	0,45
232	2,2	0,3644	0,9427	0,5	0,44
233	2,2	0,3616	0,9427	0,5	0,44
234	2,2	0,3589	0,9427	0,5	0,44
235	2,19	0,3562	0,9384	0,5	0,44
236	2,18	0,3534	0,9341	0,5	0,43
237	2,18	0,3507	0,9341	0,5	0,43
238	2,17	0,3479	0,9298	0,5	0,43
239	2,15	0,3452	0,9213	0,5	0,42
240	2,14	0,3425	0,9170	0,2	0,72
241	2,14	0,3397	0,9170	0,2	0,72
242	2,13	0,3370	0,9127	0,2	0,71
243	2,13	0,3342	0,9127	0,2	0,71
244	2,13	0,3315	0,9127	0,2	0,71
245	2,12	0,3288	0,9084	0,2	0,71
246	2,11	0,3260	0,9041	0,2	0,70
247	2,1	0,3233	0,8998	0,2	0,70
248	2,09	0,3205	0,8955	0,2	0,70
249	2,09	0,3178	0,8955	0,2	0,70
250	2,09	0,3151	0,8955	0,2	0,70
251	2,08	0,3123	0,8913	0,2	0,69
252	2,07	0,3096	0,8870	0,2	0,69
253	2,06	0,3068	0,8827	0,2	0,68
254	2,06	0,3041	0,8827	0,2	0,68
255	2,05	0,3014	0,8784	0,2	0,68
256	2,05	0,2986	0,8784	0,2	0,68
257	2,04	0,2959	0,8741	0,2	0,67
258	2,03	0,2932	0,8698	0,2	0,67
259	2,03	0,2904	0,8698	0,2	0,67
260	2,02	0,2877	0,8655	0,2	0,67
261	2,02	0,2849	0,8655	0,2	0,67
262	2,01	0,2822	0,8613	0,2	0,66
263	2	0,2795	0,8570	0,2	0,66
264	2	0,2767	0,8570	0,2	0,66
265	1,99	0,2740	0,8527	0,2	0,65
266	1,99	0,2712	0,8527	0,2	0,65
267	1,98	0,2685	0,8484	0,2	0,65
268	1,98	0,2658	0,8484	0,2	0,65
269	1,97	0,2630	0,8441	0,2	0,64
270	1,96	0,2603	0,8398	0,2	0,64
271	1,96	0,2575	0,8398	0,2	0,64
272	1,95	0,2548	0,8356	0,2	0,64
273	1,94	0,2521	0,8313	0,2	0,63
274	1,94	0,2493	0,8313	0,2	0,63
275	1,93	0,2466	0,8270	0,2	0,63
276	1,92	0,2438	0,8227	0,2	0,62
277	1,91	0,2411	0,8184	0,2	0,62
278	1,91	0,2384	0,8184	0,2	0,62
279	1,9	0,2356	0,8141	0,2	0,61

280	1,89	0,2329	0,8098	0,2	0,61
281	1,88	0,2301	0,8056	0,2	0,61
282	1,86	0,2274	0,7970	0,2	0,60
283	1,85	0,2247	0,7927	0,2	0,59
284	1,85	0,2219	0,7927	0,2	0,59
285	1,84	0,2192	0,7884	0,2	0,59
286	1,83	0,2164	0,7841	0,2	0,58
287	1,83	0,2137	0,7841	0,2	0,58
288	1,82	0,2110	0,7798	0,2	0,58
289	1,81	0,2082	0,7756	0,2	0,58
290	1,8	0,2055	0,7713	0,2	0,57
291	1,79	0,2027	0,7670	0,2	0,57
292	1,78	0,2000	0,7627	0,2	0,56
293	1,78	0,1973	0,7627	0,2	0,56
294	1,77	0,1945	0,7584	0,2	0,56
295	1,76	0,1918	0,7541	0,2	0,55
296	1,76	0,1890	0,7541	0,2	0,55
297	1,75	0,1863	0,7499	0,2	0,55
298	1,74	0,1836	0,7456	0,2	0,55
299	1,73	0,1808	0,7413	0,2	0,54
300	1,72	0,1781	0,7370	0,2	0,54
301	1,72	0,1753	0,7370	0,2	0,54
302	1,71	0,1726	0,7327	0,2	0,53
303	1,69	0,1699	0,7241	0,2	0,52
304	1,69	0,1671	0,7241	0,2	0,52
305	1,68	0,1644	0,7199	0,2	0,52
306	1,66	0,1616	0,7113	0,2	0,51
307	1,65	0,1589	0,7070	0,2	0,51
308	1,65	0,1562	0,7070	0,2	0,51
309	1,64	0,1534	0,7027	0,2	0,50
310	1,64	0,1507	0,7027	0,2	0,50
311	1,63	0,1479	0,6984	0,2	0,50
312	1,62	0,1452	0,6942	0,2	0,49
313	1,61	0,1425	0,6899	0,2	0,49
314	1,61	0,1397	0,6899	0,2	0,49
315	1,6	0,1370	0,6856	0,2	0,49
316	1,59	0,1342	0,6813	0,2	0,48
317	1,59	0,1315	0,6813	0,2	0,48
318	1,58	0,1288	0,6770	0,2	0,48
319	1,57	0,1260	0,6727	0,2	0,47
320	1,56	0,1233	0,6684	0,2	0,47
321	1,56	0,1205	0,6684	0,2	0,47
322	1,55	0,1178	0,6642	0,2	0,46
323	1,54	0,1151	0,6599	0,2	0,46
324	1,53	0,1123	0,6556	0,2	0,46
325	1,52	0,1096	0,6513	0,2	0,45
326	1,52	0,1068	0,6513	0,2	0,45
327	1,5	0,1041	0,6427	0,2	0,44
328	1,49	0,1014	0,6384	0,2	0,44
329	1,48	0,0986	0,6342	0,2	0,43
330	1,48	0,0959	0,6342	0,2	0,43
331	1,47	0,0932	0,6299	0	0,63
332	1,45	0,0904	0,6213	0	0,62
333	1,45	0,0877	0,6213	0	0,62
334	1,45	0,0849	0,6213	0	0,62
335	1,44	0,0822	0,6170	0	0,62
336	1,43	0,0795	0,6127	0	0,61

337	1,42	0,0767	0,6085	0	0,61
338	1,41	0,0740	0,6042	0	0,60
339	1,4	0,0712	0,5999	0	0,60
340	1,4	0,0685	0,5999	0	0,60
341	1,39	0,0658	0,5956	0	0,60
342	1,39	0,0630	0,5956	0	0,60
343	1,39	0,0603	0,5956	0	0,60
344	1,38	0,0575	0,5913	0	0,59
345	1,37	0,0548	0,5870	0	0,59
346	1,37	0,0521	0,5870	0	0,59
347	1,36	0,0493	0,5827	0	0,58
348	1,34	0,0466	0,5742	0	0,57
349	1,33	0,0438	0,5699	0	0,57
350	1,33	0,0411	0,5699	0	0,57
351	1,31	0,0384	0,5613	0	0,56
352	1,31	0,0356	0,5613	0	0,56
353	1,28	0,0329	0,5485	0	0,55
354	1,27	0,0301	0,5442	0	0,54
355	1,26	0,0274	0,5399	0	0,54
356	1,25	0,0247	0,5356	0	0,54
357	1,24	0,0219	0,5313	0	0,53
358	1,22	0,0192	0,5228	0	0,52
359	1,2	0,0164	0,5142	0	0,51
360	1,18	0,0137	0,5056	0	0,51
361	1,14	0,0110	0,4885	0	0,49
362	1,12	0,0082	0,4799	0	0,48
363	1,09	0,0055	0,4671	0	0,47
364	1,01	0,0027	0,4328	0	0,43
365	0,73	0,0000	0,3128	0	0,31

Nella seguente tabella 3.5.8 sono riportati gli andamenti delle portate nel fiume Montone presso la sezione di Bocconi, delle portate derivate, e dell'energia giornaliera prodotta.

Tab. 3.5.8 Andamento giornaliero di produzione di energia con impianto idroelettrico presso il bacino del Montone, località Bocconi.

Durata [gg]	Qg [m3/s]	DMV Qg[m3/s]	Q derivabile Qg[m3/s]	Salto geodetico [m]	Diametro [m]	Lunghezza [m]	Salto netto [m]	Energia kw	Energia kwh
1	36,95	36,45	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
2	30,47	29,97	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
3	27,29	26,79	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
4	24,87	24,37	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
5	21,70	21,20	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
6	20,51	20,01	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
7	18,38	17,88	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
8	16,94	16,44	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
9	15,05	14,55	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
10	14,23	13,73	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
11	13,63	13,13	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
12	12,10	11,60	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
13	11,61	11,11	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
14	11,04	10,54	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
15	10,61	10,11	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
16	10,07	9,57	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
17	9,25	8,75	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30

18	8,77	8,27	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
19	8,49	7,99	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
20	8,34	7,84	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
21	8,06	7,56	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
22	7,79	7,29	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
23	7,47	6,97	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
24	7,25	6,75	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
25	7,17	6,67	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
26	6,98	6,48	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
27	6,90	6,40	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
28	6,72	6,22	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
29	6,50	6,00	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
30	6,25	5,75	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
31	6,12	5,62	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
32	5,93	5,43	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
33	5,56	5,06	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
34	5,32	4,82	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
35	5,22	4,72	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
36	5,14	4,64	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
37	5,09	4,59	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
38	4,96	4,46	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
39	4,86	4,36	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
40	4,76	4,26	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
41	4,66	4,16	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
42	4,53	4,03	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
43	4,34	3,84	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
44	4,30	3,80	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
45	4,23	3,73	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
46	4,05	3,55	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
47	4,01	3,51	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
48	3,98	3,48	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
49	3,89	3,39	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
50	3,83	3,33	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
51	3,79	3,29	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
52	3,77	3,27	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
53	3,71	3,21	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
54	3,67	3,17	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
55	3,58	3,08	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
56	3,46	2,96	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
57	3,42	2,92	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
58	3,35	2,85	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
59	3,29	2,79	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
60	3,21	2,71	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
61	3,18	2,68	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
62	3,09	2,59	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
63	3,06	2,56	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
64	3,00	2,50	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
65	2,98	2,48	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
66	2,95	2,45	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
67	2,91	2,41	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
68	2,87	2,37	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
69	2,83	2,33	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
70	2,81	2,31	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
71	2,75	2,25	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
72	2,71	2,21	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
73	2,67	2,17	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
74	2,60	2,10	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
75	2,57	2,07	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
76	2,55	2,05	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
77	2,50	2,00	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
78	2,48	1,98	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
79	2,46	1,96	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
80	2,43	1,93	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
81	2,39	1,89	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30

82	2,37	1,87	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
83	2,32	1,82	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
84	2,28	1,78	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
85	2,26	1,76	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
86	2,22	1,72	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
87	2,18	1,68	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
88	2,16	1,66	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
89	2,13	1,63	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
90	2,10	1,60	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
91	2,07	1,57	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
92	2,05	1,55	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
93	2,01	1,51	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
94	1,98	1,48	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
95	1,97	1,47	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
96	1,96	1,46	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
97	1,93	1,43	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
98	1,91	1,41	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
99	1,89	1,39	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
100	1,88	1,38	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
101	1,86	1,36	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
102	1,85	1,35	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
103	1,82	1,32	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
104	1,80	1,30	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
105	1,79	1,29	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
106	1,77	1,27	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
107	1,75	1,25	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
108	1,74	1,24	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
109	1,73	1,23	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
110	1,72	1,22	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
111	1,71	1,21	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
112	1,68	1,18	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
113	1,67	1,17	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
114	1,65	1,15	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
115	1,64	1,14	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
116	1,63	1,13	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
117	1,62	1,12	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
118	1,62	1,12	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
119	1,59	1,09	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
120	1,57	1,07	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
121	1,56	1,06	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
122	1,54	1,04	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
123	1,53	1,03	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
124	1,51	1,01	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
125	1,50	1,00	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
126	1,49	0,99	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
127	1,49	0,99	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
128	1,48	0,98	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
129	1,47	0,97	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
130	1,46	0,96	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
131	1,45	0,95	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
132	1,44	0,94	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
133	1,43	0,93	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
134	1,41	0,91	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
135	1,41	0,91	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
136	1,39	0,89	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
137	1,37	0,87	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
138	1,35	0,85	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
139	1,34	0,84	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
140	1,33	0,83	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
141	1,32	0,82	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
142	1,32	0,82	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
143	1,31	0,81	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
144	1,30	0,80	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
145	1,30	0,80	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30

146	1,29	0,79	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
147	1,28	0,78	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
148	1,27	0,77	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
149	1,26	0,76	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
150	1,26	0,76	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
151	1,25	0,75	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
152	1,25	0,75	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
153	1,24	0,74	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
154	1,23	0,73	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
155	1,23	0,73	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
156	1,23	0,73	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
157	1,22	0,72	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
158	1,22	0,72	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
159	1,21	0,71	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
160	1,20	0,70	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
161	1,20	0,70	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
162	1,19	0,69	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
163	1,19	0,69	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
164	1,18	0,68	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
165	1,18	0,68	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
166	1,17	0,67	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
167	1,17	0,67	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
168	1,16	0,66	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
169	1,16	0,66	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
170	1,15	0,65	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
171	1,15	0,65	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
172	1,15	0,65	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
173	1,14	0,64	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
174	1,14	0,64	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
175	1,14	0,64	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
176	1,14	0,64	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
177	1,14	0,64	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
178	1,14	0,64	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
179	1,13	0,63	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
180	1,13	0,63	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
181	1,12	0,62	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
182	1,12	0,62	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
183	1,11	0,61	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
184	1,11	0,61	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
185	1,11	0,61	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
186	1,11	0,61	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
187	1,10	0,60	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
188	1,10	0,60	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
189	1,09	0,59	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
190	1,09	0,59	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
191	1,09	0,59	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
192	1,08	0,58	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
193	1,08	0,58	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
194	1,07	0,57	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
195	1,07	0,57	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
196	1,06	0,56	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
197	1,06	0,56	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
198	1,05	0,55	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
199	1,05	0,55	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
200	1,05	0,55	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
201	1,05	0,55	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
202	1,05	0,55	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
203	1,04	0,54	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
204	1,03	0,53	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
205	1,03	0,53	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
206	1,02	0,52	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
207	1,02	0,52	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
208	1,02	0,52	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
209	1,02	0,52	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30

210	1,01	0,51	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
211	1,01	0,51	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
212	1,00	0,50	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
213	1,00	0,50	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
214	1,00	0,50	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
215	0,99	0,49	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
216	0,99	0,49	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
217	0,99	0,49	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
218	0,99	0,49	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
219	0,98	0,48	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
220	0,97	0,47	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
221	0,97	0,47	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
222	0,97	0,47	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
223	0,97	0,47	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
224	0,97	0,47	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
225	0,96	0,46	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
226	0,96	0,46	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
227	0,96	0,46	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
228	0,95	0,45	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
229	0,95	0,45	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
230	0,95	0,45	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
231	0,95	0,45	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
232	0,94	0,44	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
233	0,94	0,44	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
234	0,94	0,44	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
235	0,94	0,44	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
236	0,93	0,43	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
237	0,93	0,43	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
238	0,93	0,43	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
239	0,92	0,42	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
240	0,92	0,42	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
241	0,92	0,42	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
242	0,91	0,59	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
243	0,91	0,41	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
244	0,91	0,41	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
245	0,91	0,41	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
246	0,90	0,40	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
247	0,90	0,40	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
248	0,90	0,40	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
249	0,90	0,40	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
250	0,90	0,40	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
251	0,89	0,39	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
252	0,89	0,39	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
253	0,88	0,38	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
254	0,88	0,38	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
255	0,88	0,38	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
256	0,88	0,38	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
257	0,87	0,37	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
258	0,87	0,37	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
259	0,87	0,37	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
260	0,87	0,37	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
261	0,87	0,37	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
262	0,86	0,36	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
263	0,86	0,36	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
264	0,86	0,36	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
265	0,85	0,35	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
266	0,85	0,35	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
267	0,85	0,35	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
268	0,85	0,35	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
269	0,84	0,34	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
270	0,84	0,34	0,5	9,85	0,6	108,65	9,38	39,10	938,30
271	0,84	0,64	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
272	0,84	0,64	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
273	0,83	0,63	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22

274	0,83	0,63	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
275	0,83	0,63	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
276	0,82	0,62	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
277	0,82	0,62	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
278	0,82	0,62	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
279	0,81	0,61	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
280	0,81	0,61	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
281	0,81	0,61	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
282	0,80	0,60	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
283	0,79	0,59	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
284	0,79	0,59	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
285	0,79	0,59	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
286	0,78	0,58	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
287	0,78	0,58	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
288	0,78	0,58	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
289	0,78	0,58	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
290	0,77	0,57	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
291	0,77	0,57	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
292	0,76	0,56	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
293	0,76	0,56	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
294	0,76	0,56	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
295	0,75	0,55	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
296	0,75	0,55	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
297	0,75	0,55	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
298	0,75	0,55	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
299	0,74	0,54	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
300	0,74	0,54	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
301	0,74	0,54	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
302	0,73	0,53	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
303	0,72	0,52	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
304	0,72	0,52	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
305	0,72	0,52	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
306	0,71	0,51	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
307	0,71	0,51	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
308	0,71	0,51	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
309	0,70	0,50	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
310	0,70	0,50	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
311	0,70	0,50	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
312	0,69	0,49	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
313	0,69	0,49	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
314	0,69	0,49	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
315	0,69	0,49	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
316	0,68	0,48	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
317	0,68	0,48	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
318	0,68	0,48	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
319	0,67	0,47	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
320	0,67	0,47	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
321	0,67	0,47	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
322	0,66	0,46	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
323	0,66	0,46	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
324	0,66	0,46	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
325	0,65	0,45	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
326	0,65	0,45	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
327	0,64	0,44	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
328	0,64	0,44	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
329	0,63	0,43	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
330	0,63	0,43	0,2	9,85	0,6	108,65	9,77	16,30	391,22
331	0,63	0,63	0	9,85	0,6	108,65	9,85	0,00	0,00
332	0,62	0,62	0	9,85	0,6	108,65	9,85	0,00	0,00
333	0,62	0,62	0	9,85	0,6	108,65	9,85	0,00	0,00
334	0,62	0,62	0	9,85	0,6	108,65	9,85	0,00	0,00
335	0,62	0,62	0	9,85	0,6	108,65	9,85	0,00	0,00
336	0,61	0,61	0	9,85	0,6	108,65	9,85	0,00	0,00
337	0,61	0,61	0	9,85	0,6	108,65	9,85	0,00	0,00

338	0,60	0,60	0	9,85	0,6	108,65	9,85	0,00	0,00
339	0,60	0,60	0	9,85	0,6	108,65	9,85	0,00	0,00
340	0,60	0,60	0	9,85	0,6	108,65	9,85	0,00	0,00
341	0,60	0,60	0	9,85	0,6	108,65	9,85	0,00	0,00
342	0,60	0,60	0	9,85	0,6	108,65	9,85	0,00	0,00
343	0,60	0,60	0	9,85	0,6	108,65	9,85	0,00	0,00
344	0,59	0,59	0	9,85	0,6	108,65	9,85	0,00	0,00
345	0,59	0,59	0	9,85	0,6	108,65	9,85	0,00	0,00
346	0,59	0,59	0	9,85	0,6	108,65	9,85	0,00	0,00
347	0,58	0,58	0	9,85	0,6	108,65	9,85	0,00	0,00
348	0,57	0,57	0	9,85	0,6	108,65	9,85	0,00	0,00
349	0,57	0,57	0	9,85	0,6	108,65	9,85	0,00	0,00
350	0,57	0,57	0	9,85	0,6	108,65	9,85	0,00	0,00
351	0,56	0,56	0	9,85	0,6	108,65	9,85	0,00	0,00
352	0,56	0,56	0	9,85	0,6	108,65	9,85	0,00	0,00
353	0,55	0,55	0	9,85	0,6	108,65	9,85	0,00	0,00
354	0,54	0,54	0	9,85	0,6	108,65	9,85	0,00	0,00
355	0,54	0,54	0	9,85	0,6	108,65	9,85	0,00	0,00
356	0,54	0,54	0	9,85	0,6	108,65	9,85	0,00	0,00
357	0,53	0,53	0	9,85	0,6	108,65	9,85	0,00	0,00
358	0,52	0,52	0	9,85	0,6	108,65	9,85	0,00	0,00
359	0,51	0,51	0	9,85	0,6	108,65	9,85	0,00	0,00
360	0,51	0,51	0	9,85	0,6	108,65	9,85	0,00	0,00
361	0,49	0,49	0	9,85	0,6	108,65	9,85	0,00	0,00
362	0,48	0,48	0	9,85	0,6	108,65	9,85	0,00	0,00
363	0,47	0,47	0	9,85	0,6	108,65	9,85	0,00	0,00
364	0,43	0,43	0	9,85	0,6	108,65	9,85	0,00	0,00
365	0,31	0,31	0	9,85	0,6	108,65	9,85	0,00	0,00
								Totale	276.813 kwh

Visti i risultati ottenuti dalle indagini ideologici eseguiti sulle sezioni di Portico di Romagna e Bocconi si prende in considerazione l'utilizzo di turbine tipo "Banki". Queste macchine sono adatte a salti da 7m a 60m e portate che vanno da 20 l/sec a 800 l/sec e sono sicuramente la scelta migliore al fine di conciliare qualità, prestazioni e prezzo. Infatti sia la girante sia i particolari meccanici sono realizzati completamente in acciaio inox (fig.1). La trasmissione del moto da girante a generatore è affidata ad una cinghia dentata per garantire la necessaria elasticità del sistema e minimizzare le perdite di potenza. La regolazione della portata è garantita da un particolare tegolo di regolazione che consente una variazione da 0% a 100% della portata da turbinare.

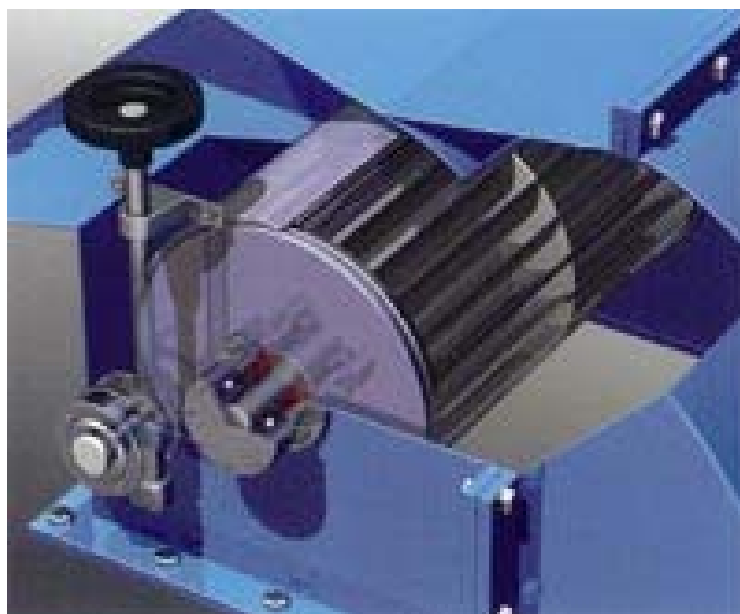


Fig 3.5.9 Particolare girante turbina modello "Banki"

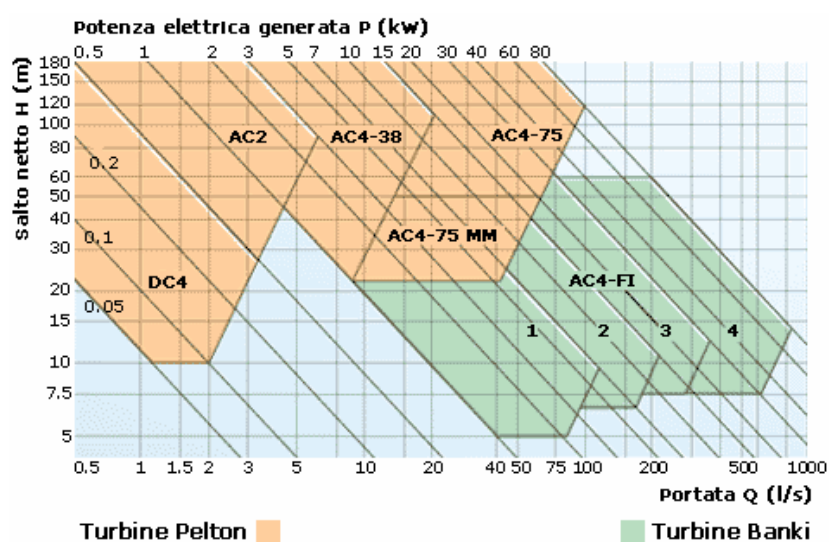


Fig. 3.5.9 Caratteristiche in termini di resa in funzione del salto utile.

Tab. 3.5.10 Quadro riassuntivo delle due sezioni.

	PORTICO	BOCCONI	
SALTO UTILE	4,51	9,38	m
PORTATA MAX DERIVABILE	1	0,5	mc/s
PORTATA MED DERIVABILE	0,580	0,402	mc/s
POTENZA MASSIMA	37,61	39,11	kw
POTENZA MEDIA	21,81	31,44	kw
PRODUZIONE MEDIA ANNUA	187797	276813	kwh

Dalla tabella 3.5.10 appare chiaro che per ciò che concerne la produzione di energia da micro centrale idroelettrica la producibilità in gioco è molto bassa. Per questa ragione è necessaria una attenta analisi su quelli che potrebbero essere i costi di realizzazione e di manutenzione. Attualmente in corrispondenza delle due sezioni sono presenti due mulini, utilizzati decenni fa per macinare i cereali, dei quali sono state mantenute le opere di presa e le derivazioni. Queste strutture potrebbero essere utilizzate nuovamente limitando i costi dei lavori edili e introducendo in alveo piccole opere murarie per alloggiare le macchine. Un altro aspetto, infine, da considerare è la scarsa quantità d'acqua turbinabile durante l'anno causa soprattutto dei periodi siccitosi che il clima locale presenta.

3.5.3 Impianti a Biomassa

I quantitativi disponibili di Biomassa nell'area studio risultano essere intorno ai 800 q/giorno, tutti provenienti da sfalci e potature di origine agricola. Tale dato risulta da analisi condotte con la ditta C.T.A. Cooperativa Territorio Ambiente di Rocca San Casciano che effettua lavorazioni agricole per tutta la zona della Comunità Montana Acquacheta e che conta numerosi associati anche nelle zone del faentino.

Alla luce di appare opportuna, come applicazione a miglior resa, l'individuazione di una zona in cui siano presenti strutture pubbliche e residenziali alle quali fornire un servizio di teleriscaldamento.

Maggiori quantitativi di biomassa sarebbero ottenibili dall'utilizzo di materiale proveniente da aree boschive, ma la carenza di una viabilità distribuita capillarmente e alla quale venga garantita una manutenzione ordinaria, pregiudica il reperimento anche in funzione di un aumento esponenziale dei costi alla consegna.

Di seguito viene formulata una ipotesi di applicazione di teleriscaldamento per l'area popolare dell'abitato di Portico di Romagna (figure 3.5.5 e 3.5.6).

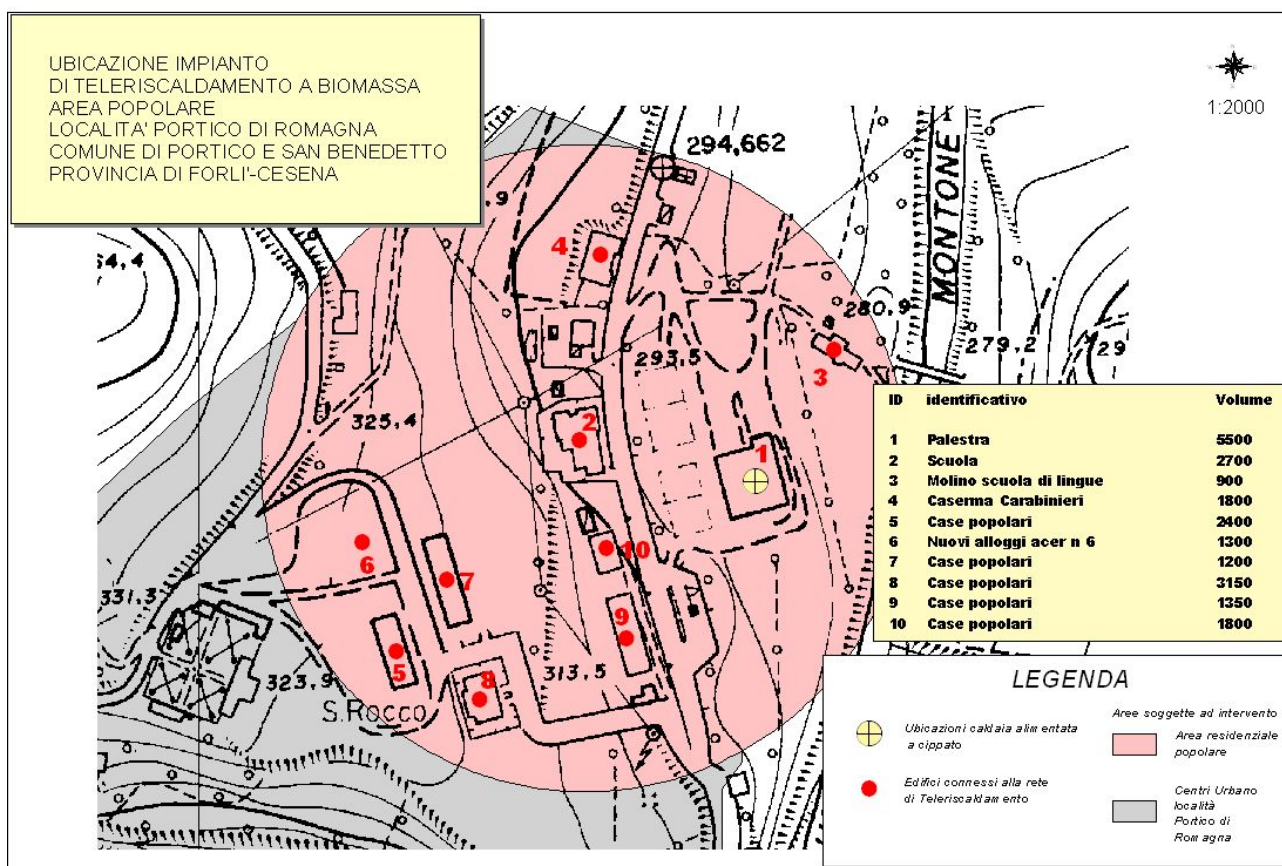


Fig. 3.5.5 Localizzazione dell'impianto



Fig. 3.5.6 Ortoimmagine satellitare dello stato di fatto

Il progetto di teleriscaldamento prevede, in una prima fase, la stima del fabbisogno termico delle utenze che saranno servite dalla centrale termica in oggetto. Il fabbisogno energetico può essere stimato determinando alcuni fattori caratteristici quali la volumetria e la tipologia degli edifici da alimentare, la dispersione termica degli stessi ed il gradiente termico tra interno ed esterno. Le utenze interessate dall'impianto in oggetto sono di seguito elencate nella tabella 3.5.10.

Tab. 3.5.10 Volumi delle utenze in m³

Palestra	5500
Scuola	2700
Molino scuola di lingue	900
Caserma Carabinieri	1800
Case popolari	2400
Nuovi alloggi acer n 6	1300
Case popolari	1200
Case popolari	3150
Case popolari	1350
Case popolari	1800
Totale	22100

Ai fini del calcolo gli edifici possono essere suddivisi in tre categorie secondo quanto previsto dal D.P.R. n° 412 del 26 agosto 1993 quale norma di attuazione della Legge n° 10 del 9 gennaio 1991:

- E.1 - Edifici adibiti ad uso abitativo (case popolari e alloggi);
- E.6 - Edifici adibiti ad attività sportive: palestre e assimilabili;
- E.7 - Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli: scuole e assimilabili (caserme).

Al fine di portare in conto, inoltre, gli effetti sia energetici che economici già in sede di predimensionamento si ritiene opportuno considerare per i locali in oggetto una temperatura interna pari 20°C più 2°C di tolleranza, secondo quanto stabilito dalle norme suddette.

Il Comune di Portico e San Benedetto, secondo normativa, è identificato in zona E per la quale è previsto un funzionamento degli impianti di riscaldamento pubblici dal 15 ottobre al 15 aprile per 14 ore/giorno (184 giorni, 2576 ore).

La centrale potenzialmente dovrà riscaldare 22100 m³ di edifici divisi in abitazioni, caserme e scuole, convertendo in calore circa 181220 quintali di biomassa, considerando 8,2 quintali per m³.

Prendendo in esame il quantitativo giornaliero reperibile dalla cooperativa attiva sul territorio si stima un approvvigionamento annuale pari a 146400 quintali/anno, la differenza potrà essere reperita e stoccata durante i periodi estivi e primaverili in cui gli impianti saranno fermi.

Il fabbisogno termico delle utenze è calcolato nel modo seguente:

$$P_{t\max}(W) = V_a \cdot C_g \cdot (T_a - T_{\min})$$

con:

V_a volumetria delle utenze da riscaldare (m³) = 22100 m³;

C_g coefficiente globale di dispersione termica (W/m³K) = 0,73 W/m³K medio stimato in riferimento ai valori dei coefficienti volutici di dispersione termica previsti dalla normativa sopra indicata;

T_a temperatura interna dell'aria (K) = 20°C+2°C=22°C=295 K;

T_{\min} temperatura minima di progetto (K) = $-7^{\circ}\text{C} = 266\text{ K}$

Pertanto:

$$P_{t\max}(W) = 22100m^3 \cdot 0,73W / m^3 K \cdot (295K - 266K) \approx 467857W = 467,8kW$$

Il D.P.R. n° 412 del 26 agosto 1993, quale norma di attuazione della Legge n° 10 del 9 gennaio 1991, suddivide il territorio nazionale in sei zone climatiche in funzione dei gradi giorno, indipendentemente dall'ubicazione geografica della località.

Ad esempio per Portico di Romagna (FC) i gradi giorno sono 2541, l'altezza s.l.m. è 320, la zona climatica è E cui corrisponde un periodo convenzionale di riscaldamento di 184 giorni, la stessa normativa disciplina il regime di conduzione degli impianti di riscaldamento per tutte e sei le zone climatiche e pone limitazioni in merito alle ore di attivazione giornaliera di tali impianti.

Sulla base dei dati desunti dalle stime effettuate è possibile ora valutare il fabbisogno annuo delle utenze da servire in termini di energia:

$$E_{\max}(kWh) = P_{t\max}(kW) \cdot \text{ore annue di esercizio}$$

Quindi:

$$E_{\max}(kWh) = 467kW \cdot (183 \cdot 14)h \approx 1202992kWh / \text{anno}.$$

L'impianto deve garantire un rendimento minimo calcolato in base al fabbisogno di potenza stimato:

$$\eta = 67 + 6 \log P_{t\max} = 67 + 6 \log 467 \approx 83\%$$

Essendo $P_{t\max} = 467kW$

La centrale termica avrà pertanto posizionata al proprio interno una caldaia a legno cippato la cui potenza è stimata nel seguente modo:

$$P = \frac{P_{t\max}}{\eta} = \frac{467kW}{0,83} \cong 570kW$$

L'impianto dovrà ritenersi come detto centralizzato, e la distribuzione del calore alle varie utenze avverrà per mezzo di una rete di teleriscaldamento fino alle centrali termiche esistenti, con collegamento alle tubazioni di alimentazione dei collettori generali ivi presenti. Per ogni utenza è prevista una contabilizzazione dell'energia termica effettuata mediante un apposito contatore installato sulle tubazioni di adduzione.

Si deve prevedere inoltre che le caldaie esistenti, attualmente alimentate a gas metano, non vengano eliminate in quanto in caso di manutenzioni della nuova caldaia o di qualsiasi altra problematica potrebbero essere riutilizzate per l'alimentazione degli impianti.

Il funzionamento dell'impianto si prevede per la sola fascia oraria di riscaldamento della scuola, ovvero dal mattino fino alla metà del pomeriggio. Dopo l'orario di chiusura degli edifici scolastici, le utenze la palestra e le abitazioni torneranno a funzionare con le caldaie esistenti, in quanto con un carico di utenza molto inferiore a quello nominale il rendimento delle caldaie a cippato cala in maniera più che considerevole.

La nuova centrale termica a biomasse potrebbe essere realizzata sul retro del complesso adibito a palestra, e costituito da un locale deposito combustibile e da un locale centrale, dove posizionare la

caldaia, le apparecchiature per il trattamento e l'espulsione dei fumi, lo scambiatore di calore a servizio dell'impianto di riscaldamento ed il collettore di distribuzione generale.

La caldaia produce acqua a 95 °C che può essere inviata per mezzo di una elettropompa ad uno scambiatore di calore, che funge da separatore tra il circuito caldaia e il circuito utenze. Dallo scambiatore si produce acqua a circa 85°C, che serve le utenze per mezzo di tubazioni preisolate interrate del tipo da teleriscaldamento.

Un primo circuito alimenta le centrali termiche delle scuole materne, elementari e medie e la centrale termica della palestra, un secondo alimenta le utenze abitative popolari e la caserma.

Ogni utenza può essere dotato di un sistema di regolazione che gestisce la temperatura di mandata nella stessa maniera in cui è gestita attualmente con l'impianto a caldaie, contabilizzando i consumi per mezzo di un contatore posizionato sulle tubazioni di alimentazione del collettore generale.

Le sopra citate analisi tecniche possono essere applicate anche agli altri centri del comprensorio della Comunità Montana Acquacheta, i quali presentano un tessuto urbano alquanto simile tra loro. Tutti i nuclei insediativi presentano infatti edifici pubblici localizzati in ristrette aree dislocate in prossimità dei centri storici, per cui la reale difficoltà nella realizzazione e gestione di tali impianti risiede nel reperire sufficiente materiale al fine di giustificare l'investimento per la realizzazione dell'opera.

Capitolo 4

Prospettive di produzione di energia eolica nell'area studio: valutazione tecnico-economica

4.1 Il caso studio di un parco eolico tipo di possibile realizzazione sull'area studio.

All'interno del territorio della Comunità Montana Acquacheta sono state individuate alcune aree che potenzialmente potrebbero ospitare piccoli parchi da tre macchine anche in considerazione del potenziale impatto che ne risulterebbe, soprattutto paesaggistico, e delle difficoltà nella fase di cantiere.

Le macchine scelte risultano essere di media taglia, circa 850 kW, che presentano condizioni di funzionamento e trasportabilità adatte alle caratteristiche orografiche del territorio.

Inoltre la scelta del modello di aerogeneratore è dettato dalla classe di venti che sono stati monitorati dal 06/04/2004 al 30/06/2005, presso due siti limitrofi alla Comunità Montana Acquacheta, mediante stazione anemometriche di 10 e 30 m di altezza, garantendo, da analisi dei dati effettuati, un numero di ore equivalenti di un ipotetico impianto eolico sufficienti a giustificare installazioni di questo tipo.

I siti sono caratterizzati da un'adeguata accessibilità veicolare e da una corretta distanza dagli insediamenti abitativi. Di conseguenza, gli interventi previsti sull'ambiente si limitano all'impianto delle torri ed alla realizzazione di modeste infrastrutture di servizio, come i collegamenti elettrici. Grazie all'installazione di un impianto eolico non solo si produce energia pulita limitando gli inquinanti a livello locale, ma si genera ricchezza per i Comuni e per la popolazione residente. I Comuni nei quali verranno realizzate tali opere riceveranno una quota percentuale sull'energia prodotta, potendo così disporre di risorse da utilizzare in favore delle comunità locali.

Un altro importante effetto che tali installazioni producono sul territorio è una ricaduta in termini occupazionali delle eventuali professionalità presenti. Infatti sia durante le fasi di cantiere che durante la normale attività di funzionamento dell'impianto vengono impiegati personale locale al fine di abbattere i costi della manodopera.

4.1.1 Metodologie per la valutazione dell'applicabilità e per l'individuazione di siti ottimali

La prima analisi che viene introdotta nel processo di individuazione di siti idonei è una ricognizione visiva del territorio d'interesse, ed in genere ci si concentra nelle zone di crinale dove siano presenti aree adibite a pascolo il più possibile prive di alberature.

Anche da una eventuale analisi sui vegetali presenti può essere stimata la ventosità presente (es: scala di Griggs-Putnam, par 2.4.1) in modo da definire una potenziale area di installazione.

Poiché una misura anemometrica prevede l'installazione di un anemometro, regolarmente tarato e certificato per ciò che concerne un corretto funzionamento e misura, che ha un costo di montaggio e manutenzione per circa un anno pari a 18.000,00 euro, la scelta del sito non può mancare di alcune preventive considerazioni.

In primis al sito deve essere garantita un'accessibilità buona al fine di non dover realizzare ulteriori strade o opere di servizio alla viabilità, minimizzando gli impatti ma soprattutto limitando le opere di impermeabilizzazione del bacino idrico.

Come visto nel capitolo 2, inoltre, le fasi di installazione delle macchine necessitano dell'utilizzo e trasporto di mezzi e materiali di dimensione considerevoli.

Soprattutto nelle zone montane, la presenza di eventuali tornanti o restringimenti delle carreggiate, per esempio dentro i centri urbani o ponti non adeguati a sopportare pesi eccessivi possono compromettere l'opera a causa di una incompatibilità economica dell'impianto.

Un altro aspetto utile all'individuazione delle suddette aree è rappresentato dalla vicinanza di linee elettriche idonee ad accogliere l'energia prodotta. Questo garantirebbe costi di allacciamento alla rete nazionale più contenuti e chiaramente anche un impatto ambientale e paesaggistico più modesto, anche con l'eventuale utilizzo di linee interrate.

Da non trascurare sono poi le aree di interesse comunitario denominate SIC-ZPS, all'interno delle quali sono presenti vincoli legati a caratteristiche ambientali e ricchezze storico-architettoniche.

A questo punto, definiti questi aspetti, diventa necessaria una valutazione anemometrica mediante installazione di un'apparecchiatura adeguata e certificata per un lasso temporale non inferiore ad un anno al fine di valutare le variazioni stagionali delle correnti aeree.

A seguito della campagna di raccolta dati espressi in termini di velocità e direzione del vento e temperatura, si passa all'analisi di questi per meglio valutare il potenziale eolico che rappresenta la disponibilità della risorsa "vento" in tutto il sito su cui si svilupperà il parco.

I principali parametri che lo caratterizzano sono l'intensità media del vento, la distribuzione di frequenza dell'intensità del vento e la rosa dei venti o distribuzione del vento per settori di direzione.

Tali parametri vengono misurati in alcuni punti del sito e poi stimati o calcolati su tutta l'area oggetto dell'intervento.

Da questa analisi si stima la producibilità del parco eolico, ovvero la stima dell'energia che il parco è in grado di produrre; tale parametro è legato al numero degli aerogeneratori, alla loro potenza nominale, al loro posizionamento nel parco alla intensità della risorsa eolica (Sahin, 2004).

La producibilità energetica di un singolo aerogeneratore è funzione dei seguenti elementi:

- ✓ rendimento aerodinamico c_p ;
- ✓ rendimento meccanico η_m ;
- ✓ rendimento elettrico η_g ;
- ✓ densità dell'aria ρ ;
- ✓ area spazzata dal rotore A ;
- ✓ velocità del vento V ;
- ✓ distribuzione in frequenza della velocità del vento.

Tali elementi sono necessari per poter stimare la potenza istantanea disponibile del vento, espressa dalla seguente relazione:

$$P = c_p \eta_m \eta_g \frac{1}{2} \rho A V^3$$

Per ciò che concerne la producibilità energetica di un parco eolico, inteso come insieme di uno o più aerogeneratori, dipende da:

- ✓ la producibilità di ogni aerogeneratore;
- ✓ la disposizione degli aerogeneratori sul sito;
- ✓ le interferenze aerodinamiche tra i vari aerogeneratori;
- ✓ la rete di connessione tra aerogeneratori;
- ✓ il sistema di connessione del parco alla rete di trasmissione nazionale;
- ✓ le perdite per degrado delle pale;
- ✓ la disponibilità degli aerogeneratori;
- ✓ la programmazione degli interventi di manutenzione.

Le valutazioni da effettuare preventivamente alla realizzazione di un parco eolico devono necessariamente considerare le caratteristiche di intensità del vento poiché la stessa energia prodotta è proporzionale al cubo della velocità, che a sua volta è un dato basilare nella scelta delle macchine installabili. Inoltre una stima di produzione estremamente precisa ed accurata può favorire l'ottenimento di un agevole accesso al credito presso qualunque istituto.

I parametri che determinano la resa energetica in funzione di della velocità del vento sono la velocità di cut-in (in genere pari a circa 4 m/s), la velocità nominale (12-14 m/s) e una velocità di cut-off (25 m/s), che vengono rappresentati mediante la curva caratteristica dell'aerogeneratore fornita dal costruttore (figura 4.1.1)

E' evidente che la frequenza di vento all'interno della fascia di funzionamento dell'aerogeneratore diventa fondamentale per la stima di produzione energetica.

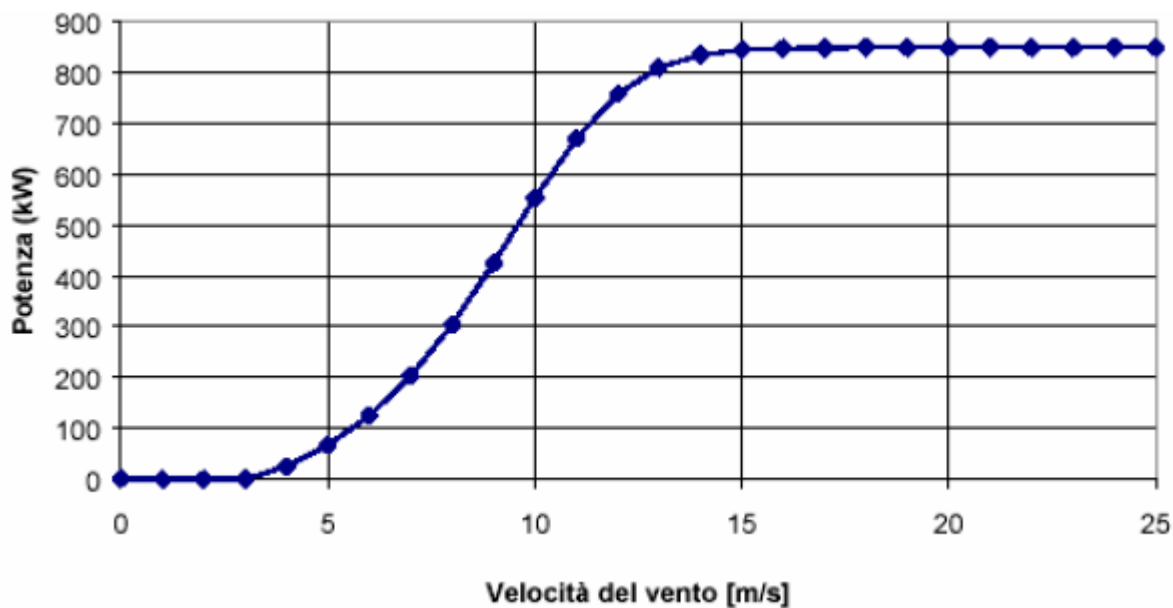


Fig.4.1.1 Esempio di curva caratteristica di un aerogeneratore

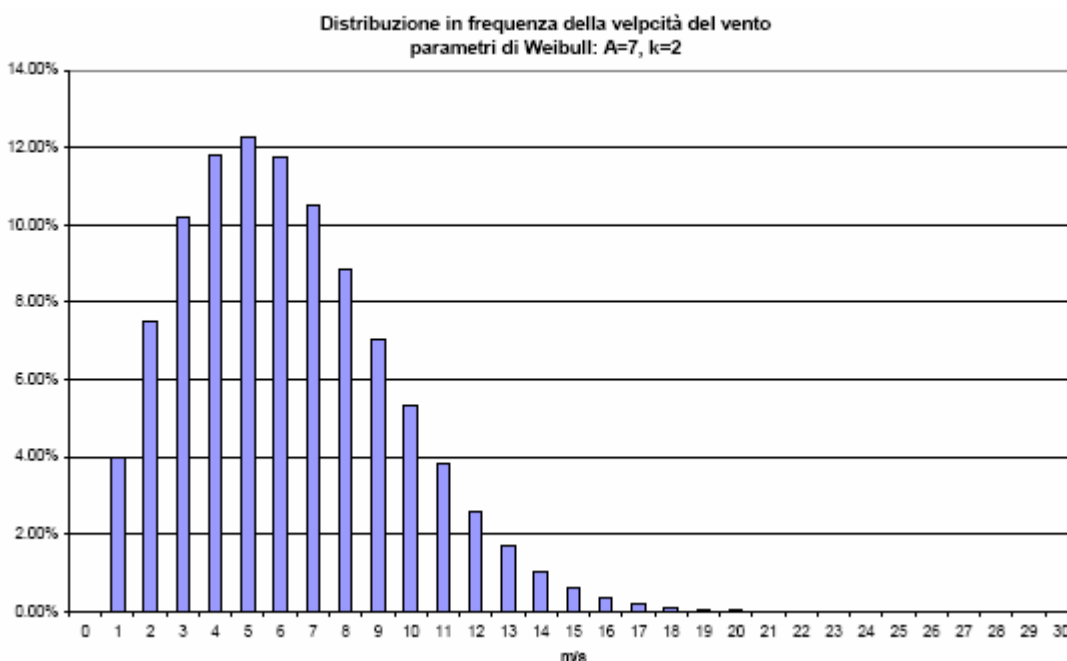


Fig. 4.1.2 Esempio di distribuzione frequenza della velocità secondo Weibull

Lo studio per la valutazione di un sito eolico si sviluppa attraverso il recupero di informazioni locali sulla ventosità, anche attraverso dati storici, la misurazione del vento, il filtraggio e l'eventuale correzione dei dati, l'analisi di micro-siting, la valutazione del potenziale eolico ed infine la producibilità del parco stesso.

I dati inerenti a velocità e direzione del vento, temperatura dell'aria e relative deviazioni standard, registrati ogni 10 minuti - poiché in questo lasso temporale non vi sono rilevanti cambiamenti di ventosità media - possono essere rappresentati come funzioni di probabilità. Inoltre essi vengono modellizzati con varie funzioni matematiche con lo scopo di trattare i dati per prevedere la ventosità in un'altra posizione o a una diversa altezza. Per queste ragioni il modello più usato è la distribuzione di Weibull (figura 4.1.2).

Gli attuali e più comuni metodi di misura anemometrica contano sull'utilizzo di sistemi a coppette e "wind-vane" (figura 4.1.3) per l'identificazione della direzione dominante.

Tali sistemi di misura permettono il funzionamento in condizioni estreme fino a -50°C con venti superiori a 70 m/s.



Fig 4.1.3 Sistema di misura a coppette e "wind-vane"

Gli sviluppi tecnologici permettono oggi di effettuare misure con strumenti ben più precisi e di complesso funzionamento come i sistemi ad ultrasuoni puntuali o SODAR, che fruttano il sistema doppler, che grazie alla mancanza di parti meccaniche in movimento determinano le misure di 3 componenti della velocità in qualunque condizione meteo-climatica.

Le campagne anemometriche presentano però non poche difficoltà, specialmente nell'individuazione di condizioni di vento particolari, quali profili non regolari in direzione verticale.

Un'altra considerevole difficoltà risiede nell'impossibilità di realizzare più misure diffuse sul sito ma solamente locali, questo principalmente per ragioni economiche e di difficoltà logistiche di gestione delle torri anemometriche. Per le stesse ragioni le misure in genere vengono effettuate a quote, come riferito, di 10 m e 30 m, inferiori rispetto a quelle degli aerogeneratori, aventi altezze anche superiori a 60 m. Ciò fa sì che spesso risulti difficoltoso estrapolare dati a quote di interesse a

causa della difficile valutazione della rugosità del terreno, se non attraverso leggi empiriche (tipo logaritmiche od esponenziali), non sempre in grado di descrivere correttamente il fenomeno.

Per le ragioni sopra descritte è necessario passare da una misura locale del vento ad uno studio del potenziale eolico su tutta l'area dell'impianto; per questa ragione risulta necessario l'utilizzo di software di simulazione, per una analisi di micro-siting.

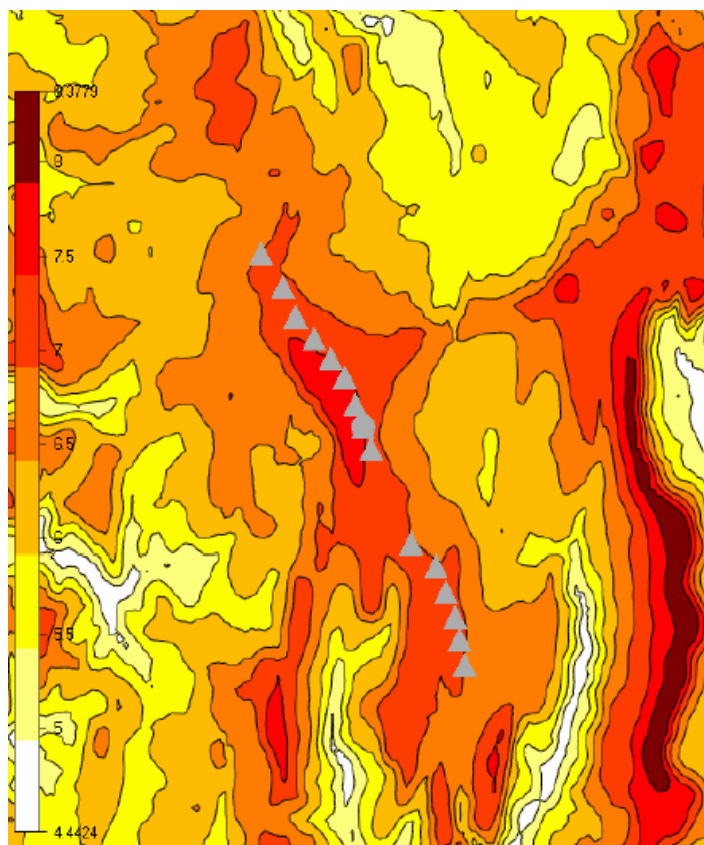
Per le simulazioni delle caratteristiche di potenziali parchi eolici, per il territorio della Comunità Montana Acquacheta si è utilizzato il programma WindFarm (1998) che sfrutta algoritmi di calcolo lineari, semplificando il processo di creazione, analisi e ottimizzazione del layout di un parco eolico.

Sulla base del calcolo del campo di ventosità il software esegue l'ottimizzazione della posizione delle turbine considerando le scie prodotte, ovvero la generazione di zone caratterizzate da turbolenze tali da compromettere il corretto funzionamento degli apparati meccanici. Inoltre permette il calcolo delle zone di impatto visivo, la realizzazione di fotomontaggi, di studi di rumorosità e degli ombreggiamenti intermittenti per la valutazione di impatto ambientale.

Il limite di affidabilità nella simulazione di siti complessi, per esempio in aree montane-collinari, con software che sfruttano algoritmi lineari risiede nella impossibilità a descrivere flussi verticali e fenomeni di separazione della vena fluida, speed-up e eventuali ricircolazioni.

Questi fenomeni generano interruzioni nel flusso d'aria minimizzando le produzioni energetiche e generando condizioni di turbolenza locale che nel tempo usurano le macchine imponendo aumenti nei costi di manutenzione.

Le rappresentazioni ottenibili, una volta filtrati e modellati i dati registrati, generano mappe di isovento sull'area dell'impianto (individuando zone con ventosità media costante), dalle quali si può verificare quali possono essere le zone in cui il vento presenta maggiore intensità e costanza (figura 4.1.4). Inoltre il software permette di elaborare la rosa dei venti, ovvero una rappresentazione a diagramma, che identifica le direzioni dominanti e le relative velocità medie (figura 4.1.5).



Wind Speed for 240.0 degs Direction, 55.0m Height

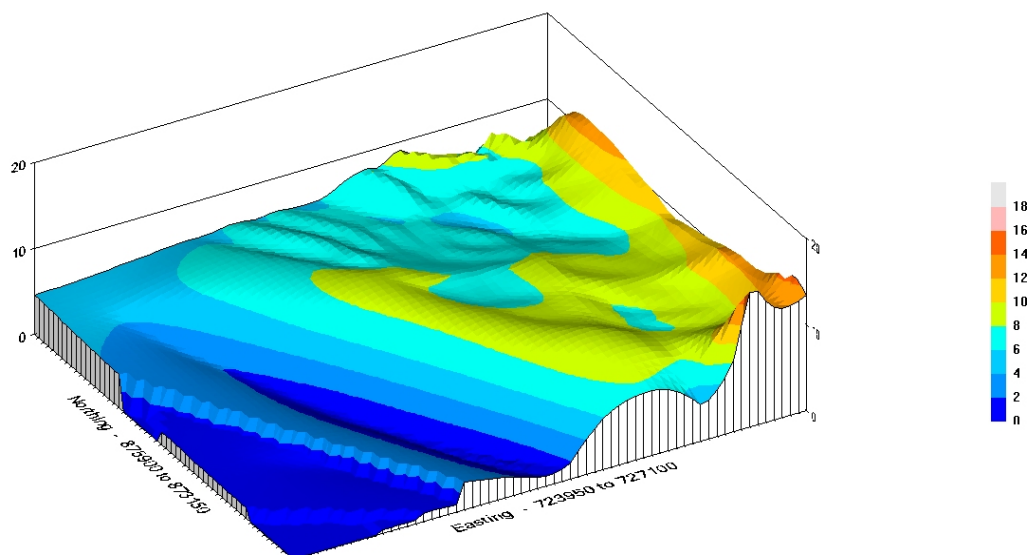


Fig. 4.1.4 Mappe di isovento 2D e 3D in funzione della quota e ottimizzazione del micrositing con disposizione automatica del parco, in una delle aree monitorate da anemometro per circa 1 anno.

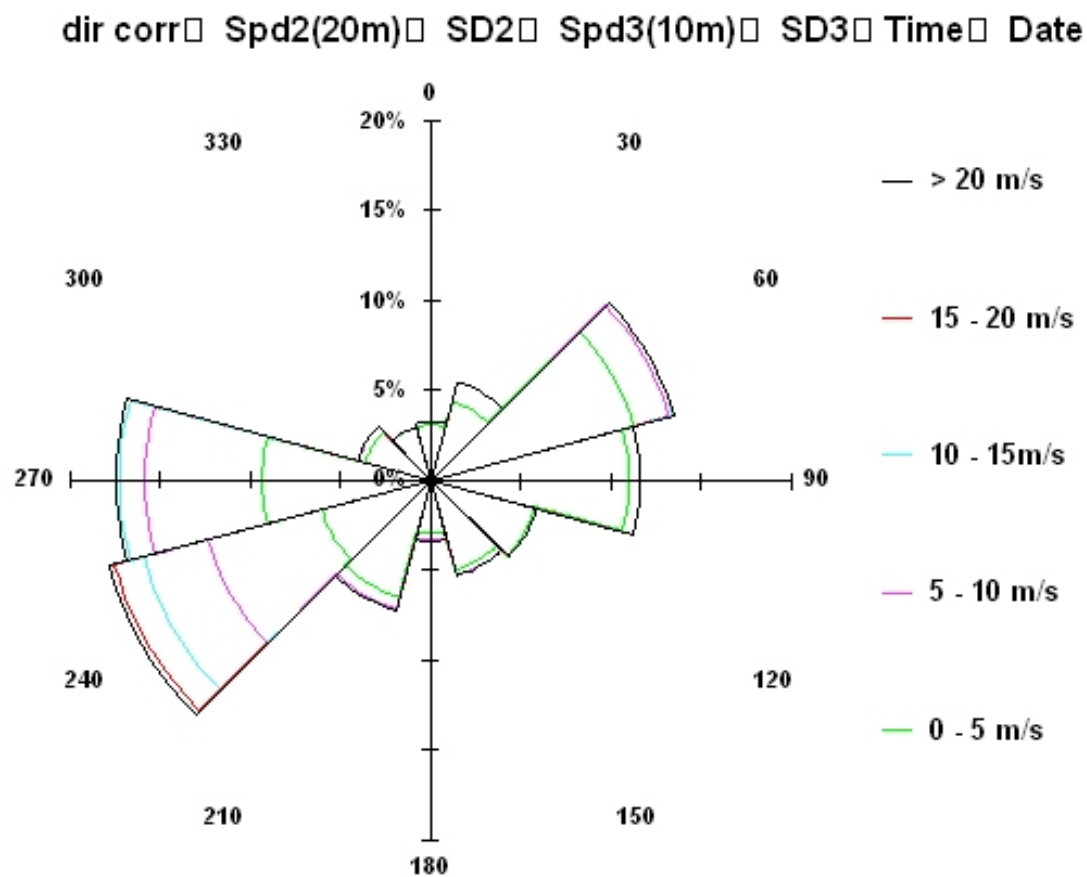


Fig. 4.1.5 Rosa dei venti per siti individuati all'interno della Comunità Montana Acquacheta.

I risultati dello studio di micro-siting generano così stime di produzione dell'impianto considerando anche eventuali perdite per effetto topografico, di scia, perdite elettriche e per degrado delle pale.

Tab. 4.1.1 Producibilità stimata per i siti individuati all'interno della Comunità Montana Acquacheta, elaborata attraverso il modello WindFarm.

Project	:				
Run Name	:	D:\WFARM\	\Y	01.WFY	
Title	:				
Time	:	20:22:18, 10 Oct 2005			
TOTAL ENERGY YIELD					
Wind	Base	Topographic	Wake	Total	
Direction	Yield	Effects	Losses	Yield	
	GWh	% Change	% Loss	GWh	
0.00	0.0221	0.00	-26.20	0.0163	
30.00	0.0687	0.00	-8.36	0.0629	
60.00	0.2092	0.00	-0.03	0.2091	
90.00	0.0498	0.00	0.00	0.0498	
120.00	0.0386	0.00	-0.12	0.0386	
150.00	0.0762	0.00	-8.32	0.0698	
180.00	0.0678	0.00	-19.87	0.0543	
210.00	0.1300	0.00	-4.28	0.1245	
240.00	1.7982	0.00	-0.02	1.7979	
270.00	0.8586	0.00	0.00	0.8586	
300.00	0.0694	0.00	-0.14	0.0693	
330.00	0.0072	0.00	-8.25	0.0066	
Total	3.3958	0.00	-1.12	3.3578	

Based on the available information, the following main results have been derived:

Wind turbines	: V52, 50 metres hub height
No. of turbines	: 3
Total installed capacity	: 2.55 MW
Estimated park production	: 3841.1 MWh/year
Park efficiency	: 99.6 %
Power curve	: General Specification – 50Hz

I risultati ottenuti generano la stima delle ore equivalenti alla massima potenza definita come il rapporto tra la produzione totale del parco eolico nell'anno diviso la potenza nominale complessiva. Per i siti individuati è stimata in circa 1500 ore/anno. Questo parametro dipende dalla scelta dell'aerogeneratore che si utilizza, dal posizionamento e dal vento.

La tabella 4.1.1 individua per ogni direzione misurata la stima della producibilità del parco con una valutazione di riduzione dell'energia prodotta generata da effetti di perturbazione e resa.

In genere una volta calcolata la produzione energetica, bisogna eseguire una analisi di incertezza dei dati individuandone le fonti tra taratura dell'anemometro, la variabilità dei dati a lungo termine, le approssimazioni introdotte nel procedimento di calcolo e le perdite per effetto scia.

4.2 Ricerca di siti idonei nell'area studio

Nel presente paragrafo si applicano le metodologie d'indagine sopra descritte andando così a definire le aree idonee all'installazione di parchi eolici.

L'approccio migliore nell'individuazione delle aree idonee deve necessariamente tenere conto degli aspetti legati alla conformazione topografica e dei vigenti vincoli urbanistici ed ambientali presenti

(Ferizo-Hanley, 2001; Moller, 2005). E' inoltre da tenere ben presente che qualunque tipo di approccio e valutazione è caratterizzata dalle componenti naturali, culturali e socio-economiche.

Come riferito, la taglia delle suddette installazioni per ragioni di impatto paesaggistico e operatività cantieristica è stata considerata non superiore alle 3 macchine. Inoltre dall'analisi dei dati di vento monitorati si è ipotizzato l'utilizzo di macchine da 850 kW per un totale, a sito di 2550 kW installati. Per prima cosa, da campagne anemometriche effettuate della durata di almeno un anno, è emerso che la quota minima in cui sia fattibile la realizzazione di parchi eolici per la presenza di vento è di 600 m s.l.m.

In seconda battuta si è provveduto alla generazione di un modello digitale del terreno (DEM) individuando circa 2000 punti quotati da carta tecnica regionale (CTR) e la ricostruzione delle isoipse, basandosi su una cartografia di scala 1:5000, dell'area di competenza dell'Amministrazione Comunitaria dell'Acquacheta, mediante applicativo GIS (figura 4.2.1).

Da questo tipo di elaborazione è stato possibile eliminare le aree al di sotto dei 600 m.s.l.m..

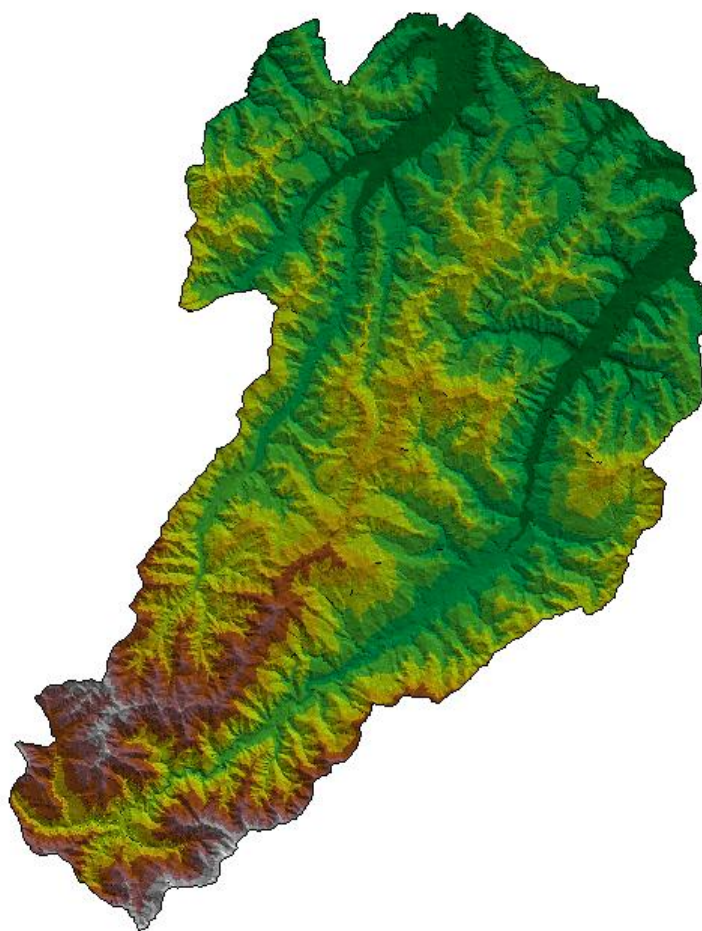


Fig.4.2.1a Ricostruzione DEM per il territorio della Comunità Montana Acquacheta

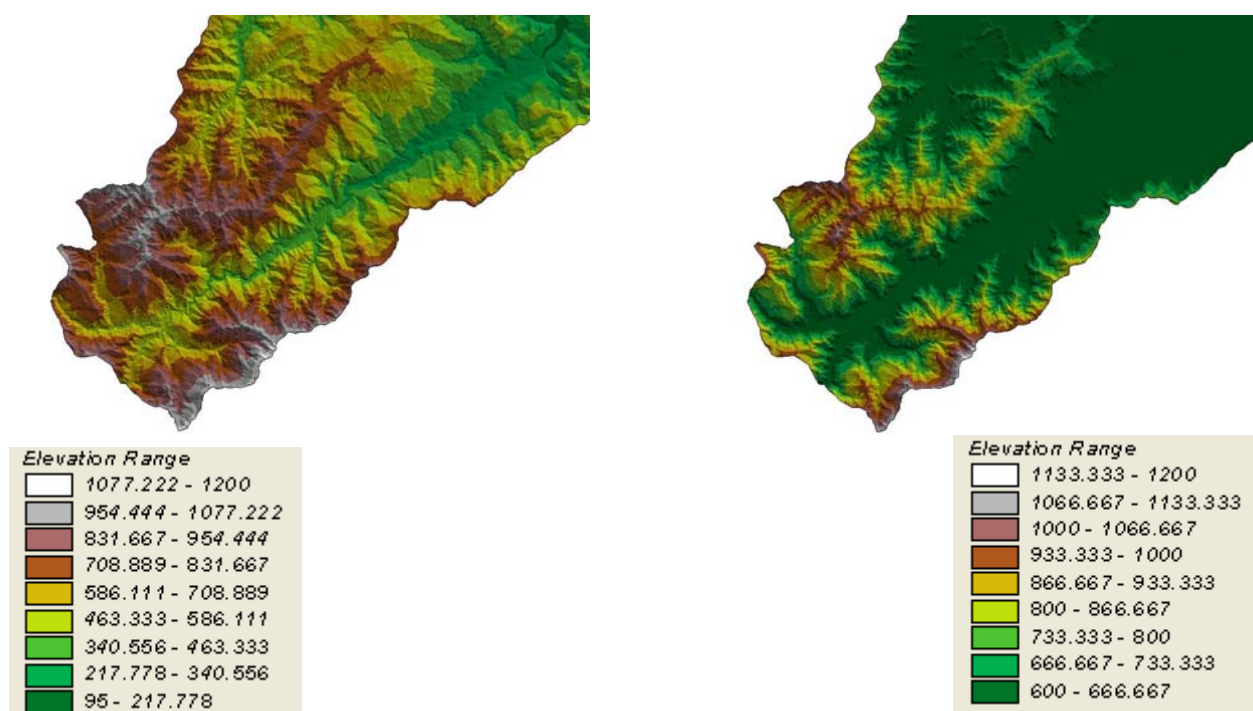


Fig.4.2.1b Individuazione aree a quota superiore ai 600 m.s.l.m.

Le aree così ottenute sono state convertite in una griglia formata da celle di dimensioni 5m x 5m, facilitando la sovrapposizioni e con i tematismi vettoriali delle cartografie del Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Forlì-Cesena, le successive elaborazioni mediante l'utilizzo di applicativi GIS. Quindi si è sovrapposto il tematismo con il quale vengono identificati i crinali, intesi come linea di confine degli spartiacque dei bacini idrici, applicando un buffer, corrispondente ad una fascia con larghezza di 500 metri. Tale valore è stato scelto poiché la conformazione stessa delle aree non permette di prevedere la localizzazione degli impianti a maggiori distanze dal crinale: valutato l'orografia locale il buffer è stato definito in maniera che contenesse aree a quote altimetriche sufficienti affinché le pale dell'aerogeneratore non risultassero al disotto della sky-line, cioè la linea di orizzonte corrispondente in montagna al crinale. Il procedimento di definizione delle fasce di rispetto dei crinali è illustrato nelle figure 4.2.2 a, b.

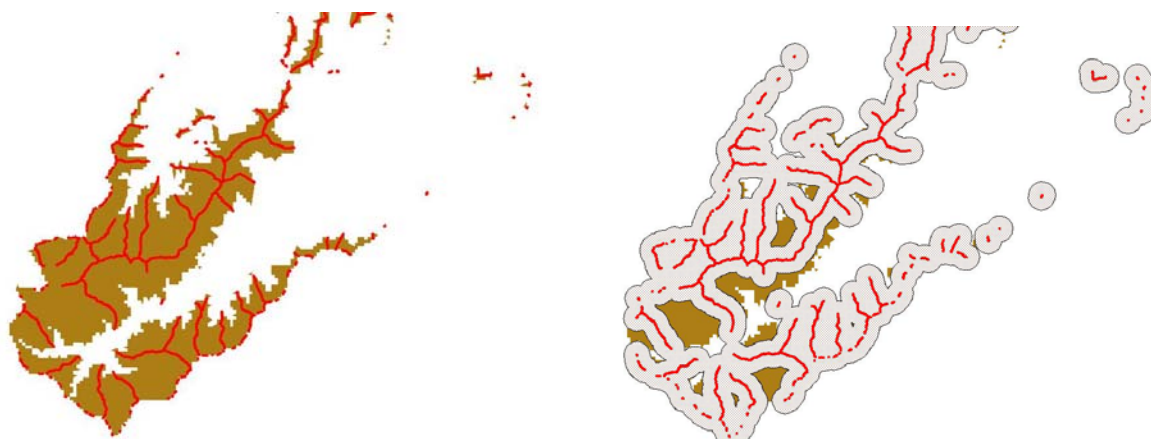


Fig.4.2.2.a Rappresentazione e sovrapposizione delle aree a quota superiore di 600 m.s.l.m. e delle fasce di crinale di larghezza massima 500 metri.



Fig.4.2.2.b Individuazione delle aree prospicienti le zone di crinale a quota superiore di 600 m.s.l.m.

Successivamente si è provveduto all'individuazione di quelle aree che fossero non più lontane di 500 m dalle principali strade comunali, provinciali o statali al fine di mitigare gli impatti ambientali dovuti alla creazione di eventuali piste di cantiere, partendo dalle aree di crinale precedentemente individuate (figure 4.2.3).

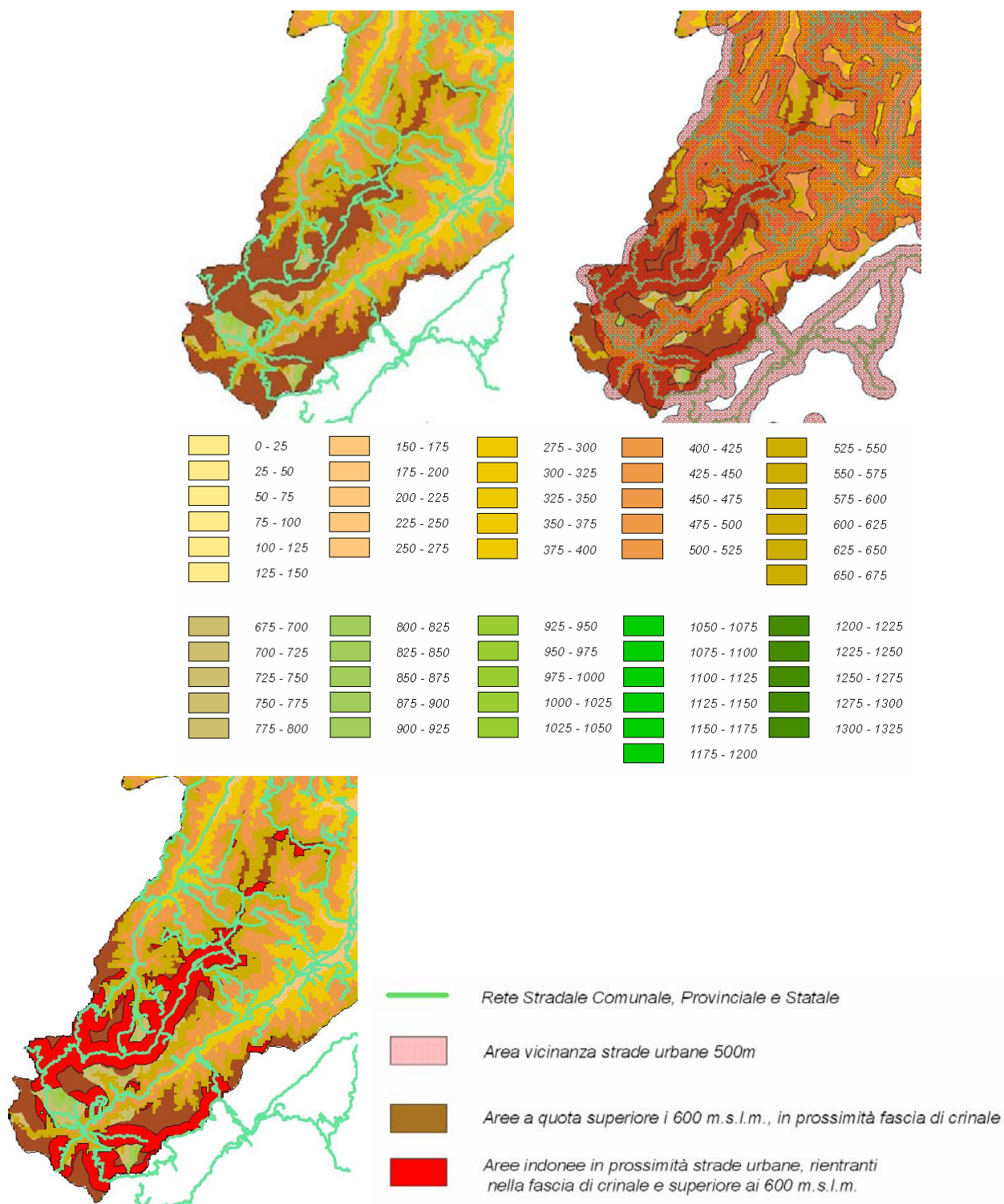


Fig.4.2.3 Individuazione delle aree con una distanza dalla rete stradale inferiore ai 500 m.

In ultimo si sono sovrapposte le aree soggette a vincoli urbanistici territoriali quali le aree SIC-ZPS, ovvero quelle di interesse ambientale paesaggistico di rilevanza comunitaria e le aree individuate a parchi nazionali (Parco Nazionale delle Foreste Casentinesi) e vincoli idrogeologici dovuti all'individuazione di zone soggette a dissesto (fig. 4.2.4).

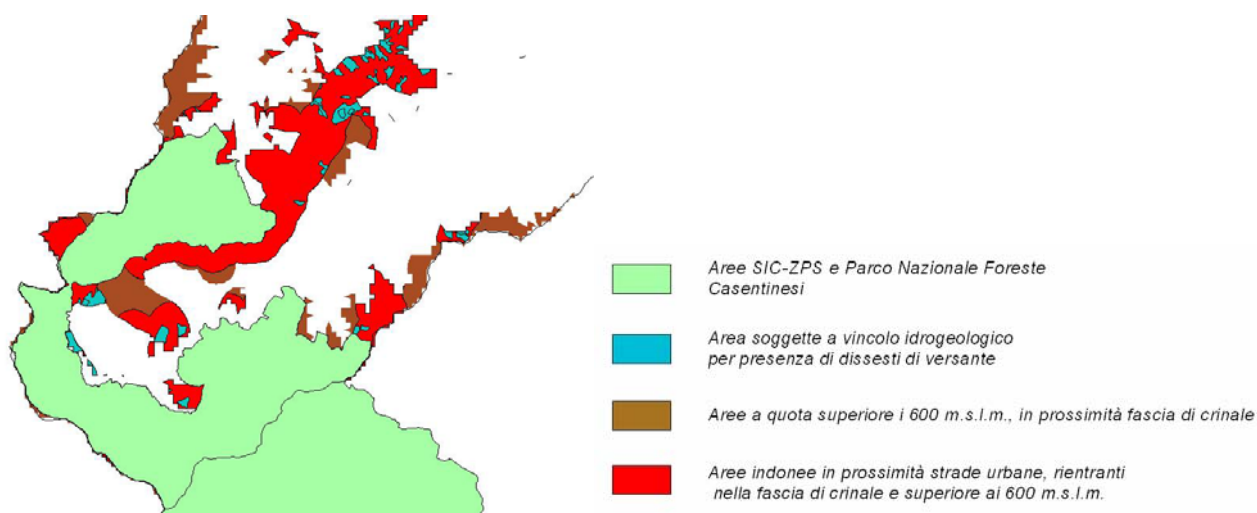


Fig. 4.2.4 Sovrapposizione delle aree parco e sic-zps, con zone soggette a dissesti idrogeologici.

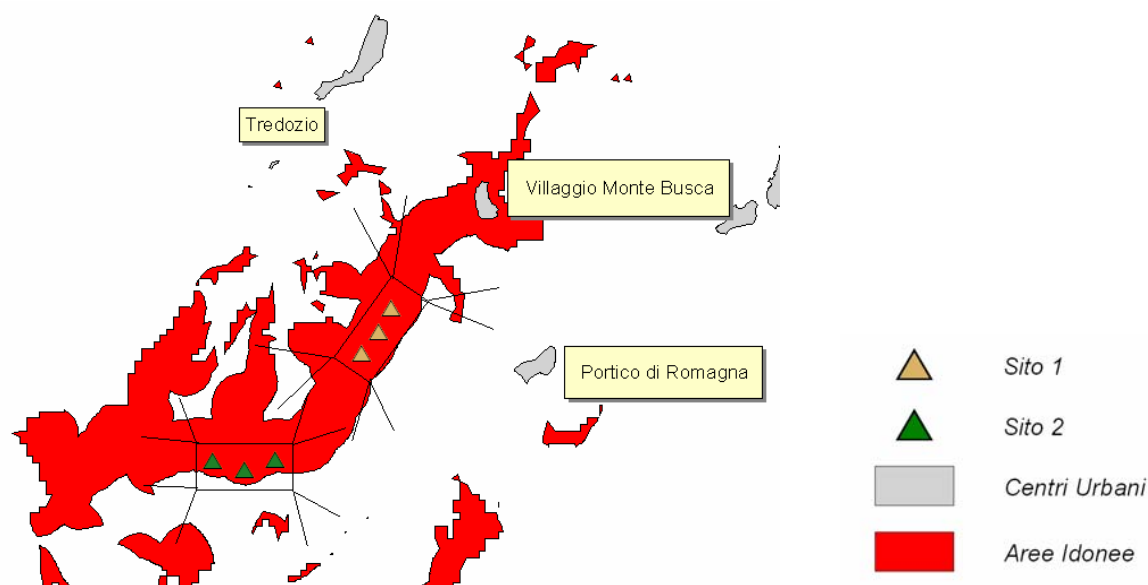


Fig. 4.2.5 Posizionamento siti eolici di massimo 3 aerogeneratori.

Nella figura 4.2.5 sono evidenziate le aree che, in conformità con gli strumenti di pianificazione territoriale dell'area, presentano le caratteristiche di fattibilità, di cantieramento e di quota altimetrica, che, anche in base ai dati di vento analizzati, sono potenzialmente idonee ad installazioni eoliche. Va notato però che al fine di ottenere una "bancabilità" dell'impianto, ovvero un finanziamento presso istituti di credito, per la realizzazione dell'opera sono necessari monitoraggi locali del vento attraverso l'utilizzo di strumenti tarati e certificati ed una attenta analisi nel posizionamento e scelta delle classi di macchine. In base ai dati ottenuti dal monitoraggio di siti limitrofi, si è valutato di considerare installazioni standard composte da 3 macchine di classe 850 kW, che utilizzano venti da 4 m/sec. fino a 21-24 m/sec.

I due impianti ipotizzati sono stati scelti in funzione della loro vicinanza con le vie di comunicazione e per la presenza di aree a pascolo particolarmente adatte a questo tipo di installazioni grazie alla mancanza di elementi fissi a terra che potrebbero generare flussi turbolenti responsabili di aumenti dei costi di manutenzione per eccessivo logoramento delle componenti meccaniche.

4.3 Analisi dei benefici in termini ambientali e confronto con scenari alternativi di produzione e impiego di energie da fonti non rinnovabili

Uno tra gli aspetti fondamentali per la caratterizzazione delle aree potenzialmente idonee sta nell'individuare i punti di osservazione presenti ai quali il parco è potenzialmente esposto e nel valutare se queste luoghi rivestono un ruolo d'interesse nella vita quotidiana dei residenti. La presenza di aree residenziali, luoghi di lavoro e aree ad alta affluenza turistica aggravano il potenziale impatto paesaggistico che parchi di questo tipo comportano. Va però notato che tra i vantaggi riscontrati, oltre alla produzione energetica, c'è l'effettivo arresto dell'urbanizzazione verso queste aree, dovuto alla chiara incompatibilità fra le due destinazioni d'uso del territorio. Infatti, in prossimità ad aree urbane, il parco eolico si troverebbe ad avere potenziali ostacoli che potrebbero generare moti turbolenti, mentre per eventuali espansioni delle aree urbane il rischio potrebbe risiedere nel dover adattare il prezzo di vendita dei fabbricati in funzione dell'interferenza visuale e del potenziale disturbo subito dalla popolazione (Buchan, 2002).

Non vanno poi dimenticati i benefici ricadenti sul territorio.

A livello locale, tutti e cinque i Comuni della Comunità montana Acquacheta hanno abbracciato una politica rivolta alla produzione di energia da fonte rinnovabile e di valorizzazione del territorio montano; la realizzazione dell'impianto viene, per queste ragioni, accolta favorevolmente dalla popolazione perché percepita come attività sostenibile, in linea con le prescrizioni del protocollo di Kyoto.

La realizzazione delle opere civili di installazione e manutenzione del parco eolico potrà inoltre essere un'occasione di lavoro per la manodopera locale.

Ai fini del buon accoglimento dei progetti da parte della popolazione residente, sono altresì determinanti i benefici economici per i Comuni e la popolazione stessa. I Comuni riceveranno una quota percentuale sul fatturato derivante dalla vendita dell'energia prodotta, potendo così disporre ogni anno di nuove e sicure risorse economiche, traducibili in servizi concreti per i cittadini o addirittura sfruttabili come garanzia per ottenere finanziamenti dalle banche. D'altro canto, i proprietari dei terreni percepiscono un canone annuo per la presenza degli aerogeneratori. Costoro, per la maggior parte agricoltori, beneficiano così di un'entrata significativa e sicura (tab.4.3.1).

Tab.4.3.1 Potenziali impatti sull'area studio.

POTENZIALI IMPATTI
Posti di lavoro nella fase di cantiere
Benefici economici per il comune e i residenti
Benefici economici per i proprietari dei terreni
Benefici per la collettività grazie alla riduzione delle emissioni
Benefici in termini di immagine
Aumento del turismo nell'area (soprattutto di carattere didattico)
Aumento del traffico nella fase di cantiere

E' inoltre necessario, una volta entrati in funzione gli eventuali parchi eolici, prevedere un coinvolgimento locale della popolazione al fine di instaurare un crescente interesse turistico.

Questo può essere possibile mediante promozione di campagne d'informazione e realizzazione di punti ad interesse didattico permanenti riguardanti l'impianto e la tecnologia impiegata.

L'analisi del progetto e delle sue criticità nei confronti delle componenti ambientali dei siti prescelti non fanno emergere un quadro di incompatibilità, trattandosi per di più della produzione di energia rinnovabile.

Attraverso la matrice di sintesi si sintetizzano gli impatti attesi e la loro importanza (tabella 4.3.2), mentre attraverso la matrice di impatto si analizza l'area di ricaduta potenziale e le misure di mitigazione adottate in fase progettuale o proposte dallo studio di impatto ambientale (tabella 4.3.3).

Tra i potenziali benefici che conseguono all'installazione di parchi eolici, oltre quello di ridurre, su scala globale e non locale, l'emissione di inquinanti in atmosfera, vi è la possibilità di sfruttare da parte delle Amministrazioni Locali tale risorsa come elemento di interesse turistico e didattico, possibilità di lavoro, almeno nella fase di cantiere, per piccole aziende edili locali e di poter rivalere imposte tributarie di carattere urbanistico-territoriale anche in termini di percentuali di produzione e relativa vendita di energia.

In altre parole le Enti Pubblici possono richiedere il pagamento in primis di tributi urbanistici "una tantum" ed aver diritto ad una royalty annua, ovvero un pagamento rateizzato nel periodo previsto di vita dell'impianto per l'occupazione temporanea di terreni ad uso agricolo.

Tab.4.3.2 Informazioni presenti nella matrice di sintesi.

impatto	Tipo	Importanza
	nullo incerto negativo positivo	trascurabile limitato poco significativo significativo molto significativo
reversibilità	reversibile irreversibile	
durata	breve lunga (vita dell'impianto)	
area di ricaduta	locale globale	

Il progetto di una centrale di produzione di energia da fonte eolica, altamente efficiente, ma che, per sua natura, non comporta l'immissione di alcun elemento inquinante in nessuno dei distretti ambientali, appare con evidenza un intervento assolutamente auspicabile ed in perfetta armonia con le prescrizioni e le raccomandazioni in merito alla riduzione delle emissioni di gas climalteranti.

Pertanto, assumendo che la produzione totale annua degli aerogeneratori sia di 3841.1 MWh, si possono considerare le emissioni evitate, su base annuale e considerando la vita minima utile dell'impianto, riportate in tabella 4.3.4.

Tab.4.3.3 Emissioni evitate durante la vita dell'impianto.

	Polveri (ton)	SOx (ton)	NOx (ton)	CO2 (ton)
Annuale	0.693	17.57	6.721	2688.77
Vita Impianto (20 anni)	13.86	351.4	134.42	53775.4

La realizzazione di un tale impianto, dalle elevatissime potenzialità produttive derivanti dall'utilizzo di una risorsa rinnovabile e non inquinante, sarà un effettivo passo verso le tanto raccomandate politiche di sostenibilità ambientale.

La scelta di impiegare macchine di medie dimensioni permette, a parità di potenza installata, di destinare una ridotta frazione di territorio per la produzione di energia, conservandone tuttavia libera la maggiore estensione per altre destinazioni o per la semplice fruizione del suo stato naturale selvatico.

Tab.4.3.4 Matrice degli impatti attesi

IMPATTO	STIMA	AREA RICADUTA	DI	MISURE DI MITIGAZIONE
ENERGIA				
Bilancio Energetico	Positivo	Globale		
	Significativo			
	Reversibile			
	Lunga Durata			
ARIA				
Emissioni di inquinanti in atmosfera	Positivo	Locale		
	Significativo			
	Reversibile			
	Lunga Durata			
Emissioni di gas climalteranti	Positivo	Globale		
	Significativo			
	Reversibile			
	Lunga Durata			
RISORSE IDRICHE				
Alterazione dell'equilibrio idrogeologico superficiale e sotterraneo	Nulla	Locale		Regimazione delle acque in fase di cantiere; assenza di strade asfaltate; utilizzo di materiali e/o tecnologie non inquinanti per i carotaggi.
SUOLO E SOTTOSUOLO				
Modifiche sulla geologia del sito	Nulla	Locale		Interventi di ingegneria naturalistica; inerbimenti lungo le scarpate.
	Poco Significativo			
	Irreversibile			
	Lunga Durata			
USO DEL SUOLO				
Trasformazione dell'uso del suolo	Negativo	Locale		Ripristino delle condizioni ambientali delle piazzole di sollevamento; Cavidotti interrati; Ripristino ambientale in seguito alla rimozione dell'impianto
	Poco Significativo			
	Reversibile			
	Lunga Durata			
VEGETAZIONE FLORA E FAUNA				
Impatti su flora e vegetazione	Negativo	Locale		Idrosemina con fiorame; Governo delle aree a verde negli anni successivi alla realizzazione delle opere.
	Poco Significativo			
	Reversibile			
	Lunga Durata			
Impatti sulla fauna (fase di cantiere)	Negativo	Locale		Costruzione nel periodo Luglio-Dicembre
	Poco Significativo			
	Reversibile			
	Lunga Durata			
Impatti sulla fauna	Negativo	Locale		Accorgimenti per migliorare la visibilità delle pale; Linee elettriche interrate.
	Poco Significativo			
	Irreversibile			
	Lunga Durata			

Qualitativamente i potenziali impatti che vengono descritti nella tabella 4.3.4 presentano impatti per lo più locali di scarsa significatività e soprattutto reversibili. Per ciò che concerne suolo, atmosfera e risorse idriche gli aerogeneratori non aggravano in alcun modo lo stato di queste componenti ambientali. Per ciò che concerne, invece, gli impatti sulla componente flora e fauna il modo per

mitigare gli impatti è principalmente quello di attivare la fase di cantiere nei periodi in cui l'attività vegetativa e faunistica è ridotta, ovvero nei periodi invernali. In particolar modo per ciò che concerne l'avifauna è consigliabile non attivare le fasi di cantiere nel periodo di migrazioni ed in ogni modo prevedere una colorazione adeguata e visibile sia delle parti in movimento che no.

Cap. 5 - Prospettive di produzione di energia eolica nell'area studio: studio dell'impatto ambientale e paesaggistico

Premessa

Lo studio e la valutazione del paesaggio, per rientrare nella sfera della scientificità ed evitare il soggettivismo, presuppongono anzitutto l'assunzione di definizioni univoche, assolute o convenzionali, per la terminologia adottata. E questo vale in modo particolare per l'oggetto stesso dello studio: il paesaggio. La lunga negligenza nei confronti dell'analisi del paesaggio come disciplina e l'assenza di riferimenti e di studi specifici ha dilatato la polisemicità di questo termine, dando origine ad una stratificazione di significati spesso in contrasto fra di loro.

Il termine paesaggio possiede due accezioni fondamentali ben distinte che derivano da matrici culturali diverse: per l'una il paesaggio indica l'immagine della realtà, e quindi il rapporto percettivo-culturale che si stabilisce fra l'uomo e quest'ultima; per l'altra il paesaggio si identifica con la realtà medesima.

L'accezione estetico-percettiva, legata cioè alla percezione visiva e alle sensazioni che essa provoca nella considerazione delle forme percepibili, nonché al giudizio sul "bello", è collegata alla tradizione pittorica seicentesca della "rappresentazione della realtà", la quale inizia a trascurare la figura umana per dedicarsi sempre più alla raffigurazione della natura. La visione del paesaggio in senso estetico è stata predominante in Italia per gran parte dell'Ottocento e fino alla prima metà del Novecento, sostenuta dalla filosofia tardo-idealista e romantica, raggiungendo il suo massimo sviluppo con l'Estetica di Benedetto Croce. Secondo tale accezione il paesaggio viene identificato con la semplice veduta o con il bel panorama. Quest'ultimo termine, che inizialmente era impiegato per indicare una rappresentazione della natura ('panorama' in origine era una grande tela dipinta, disposta a trecentosessanta gradi intorno ad uno spettatore che la osservava da un punto centrale prestabilito), col passare del tempo è stata utilizzato per indicare la cosa naturale osservata, la realtà e non più i mezzi per riprodurla o l'immagine di essa. In alcuni testi del primo Novecento, epoca in cui in Italia comincia a porsi il problema della tutela della bellezza naturale, si possono trovare alcune locuzioni esemplificative del predominio della concezione estetico-percettiva del paesaggio: la "splendida veduta", le "belle scene paesistiche", lo "spettacolo straordinario", i "quadri naturali", i "bellissimi punti di vista", ecc.

L'accezione scientifica (o geo-ecologica) deriva i suoi presupposti dalla geografia fisica e dalle scienze naturali, che possono riassumersi oggi nella disciplina ecologica. La matrice culturale di tale accezione risale alle origini della tradizione naturalistica mitteleuropea degli inizi del XIX secolo, che ebbe in Alessandro von Humboldt il suo capostipite. La nascita delle scienze naturali coincide con l'osservazione sistematica della natura e della sua complessità, e ciò comporta, verso la metà del 1800, la suddivisione della scienza in settori specifici dando così origine alle varie discipline in cui essa ancora oggi è scandita. La necessità di uno studio scientifico dei fenomeni naturali, globale e unificante, determina la nascita dell'Ecologia, termine usato per la prima volta da Haeckel nel 1866. In questa visione unitaria, il termine "paesaggio" viene spesso utilizzato per indicare la totalità dei fenomeni naturali (comprendente anche la considerazione delle interferenze antropiche), un'insieme di elementi e di relazioni dinamiche.

L'individuazione proprio nel paesaggio di uno stadio di organizzazione della materia vivente superiore a quello dell'ecosistema¹ è all'origine di una disciplina scientifica di ordine superiore rispetto all'Ecologia, l'Ecologia del paesaggio, di cui nel 1939 il geografo tedesco

¹ L'ecosistema può essere definito come un biosistema di comunità, cioè una struttura formata dall'interazione di un sistema vivente con l'ambiente che gli permette di vivere e allo stesso tempo lo condiziona.

Carl Troll diede le prime indicazioni (Landschaftsökologie). Questa disciplina studia i rapporti tra gli esseri viventi e i paesaggi, intesi come entità ambientali ampie formate dall'insieme di più ecosistemi. Nel 1986, in un trattato fondamentale dell'Ecologia del paesaggio, Forman e Godron giungono ad una definizione, oggi correntemente accettata, di paesaggio: "un paesaggio è una parte eterogenea di una regione, composta da un'aggregazione di ecosistemi interagenti che si ripete in ogni punto con forme simili".

In Italia, inizialmente, il concetto di paesaggio si introduce nel discorso geografico in stretta continuità con la sua accezione estetica. Il geografo Filippo Porena, sebbene proponesse un programma di ricerca nettamente empirico, criticava le prime definizioni puramente oggettivistiche del paesaggio proposte da alcuni studiosi tedeschi, affermando che se si parla di paesaggio non si può prescindere dall'elemento soggettivo: "il paesaggio è inseparabile dall'impressione che esso produce nel nostro senso estetico, la quale va compresa come parte ingenerata e fondamentale del suo concetto".

Il divorzio tra paesaggio in senso estetico e paesaggio come termine tecnico geografico si produce nel Novecento. È esemplificativa di questa frattura un'opera del geografo Renato Biasutti, *Il paesaggio terrestre* (1947), alla base della quale vi è esattamente la distinzione fra l'aspetto percettivo e quello scientifico del termine. Il paesaggio sensibile può essere identificato con "ciò che l'occhio può abbracciare in un giro d'orizzonte" o con quel che "è percettibile con tutti i sensi", "un paesaggio che può essere riprodotto da una fotografia, o dal quadro di un pittore, o dalla descrizione [...] di uno scrittore"; al contrario il paesaggio geografico si definisce come opposizione al valore percettivo, come frutto di astrazione in quanto "sintesi astratta dei paesaggi visibili", tendente "a rilevare da essi gli elementi e i caratteri che presentano le più frequenti ripetizioni sopra uno spazio più o meno grande, superiore, in ogni caso, a quello compreso da un solo orizzonte".

A seguito della diffusione anche in Italia di una maggiore attenzione e sensibilità per le tematiche ecologiche, l'accezione estetica del paesaggio inizia a perdere importanza. Nel 1967 la Commissione parlamentare Franceschini² affermò con chiarezza che "il paesaggio come quadro naturale è un concetto equivoco. I presupposti della legge 1497 del 1939 sono i canoni dell'espressionismo pittorico; occorre un rinnovamento, al fine di un'intima comprensione delle strutture e delle forme, che consenta un'interpretazione storica e geografica globale, in una parola "urbanistica" della complessa realtà culturale di cui strutture e forme del paesaggio umanizzato sono l'espressione".

In questi anni prendono corpo le prime definizioni di stampo ecologico: Giacomini (ecologo e naturalista italiano) afferma che "il paesaggio è un ecosistema, o meglio una costellazione di ecosistemi. L'armonia estetica che può distinguerlo è sovente il riflesso di un'armonia molto più sostanziale che solo un'attenta e sottile indagine può valutare in termini quantitativi".

L'esistenza di accezioni diverse e la conseguente formulazione di molteplici definizioni spesso distanti e contrastanti tra loro, dimostrano la complessità dell'argomento e possono considerarsi il risultato di modi diversi di leggere e di studiare il paesaggio. L'accezione scientifica (o ecologica) non deve escludere ed essere in netto contrasto con quella fenomenica (o estetica-percettiva). Esse possono essere considerate come aspetti complementari di un unico processo conoscitivo. Il paesaggio è innanzi tutto un'entità reale ed oggettiva in continua evoluzione: un insieme unitario e differenziato di fenomeni strettamente legati e di trasformazioni coerenti in cui ogni elemento ha un ruolo preciso e le cui parti interagiscono secondo leggi ben definite. Identificare il paesaggio semplicemente con il panorama o la veduta (come è successo in Italia per un lungo periodo), considerarlo perciò un'immagine, risulta alquanto riduttivo e non è utile nel caso in cui lo si voglia studiare, gestire e pianificare. Quest'ultima considerazione non deve però far pensare che l'idea di paesaggio coincida esattamente con quella di ambiente, escludendo in tal modo il valore estetico che invece è

² Commissione di indagine sulla tutela e sulla valorizzazione del patrimonio storico-artistico-archeologico e del paesaggio

proprio una particolarità che lo contraddistingue. Infatti nella stessa Raccomandazione sul Progetto di Convenzione europea del paesaggio (discussa e adottata dal Consiglio d'Europa il 27 maggio 1998) non si rifiuta affatto la componente storica-estetica del paesaggio, e anzi se ne sottolinea, fin dalla definizione, proprio la particolare natura percettiva ed estetica: "Paesaggio: una determinata parte di territorio, che può includere le acque costiere e/o interne, così come è percepita dalle popolazioni e il cui aspetto è dovuto a fattori naturali ed umani e alle loro interazioni". È necessario perciò superare la convinzione per cui si ritiene che il paesaggio in senso estetico non sia altro che la veduta o il panorama, e concepire il valore estetico come "identità estetica dei luoghi"³ (come propone Paolo D'Angelo), cioè un carattere distintivo che appartiene ai luoghi stessi, un valore non oggettivo ma neppure meramente arbitrario.

Ai sensi della Convenzione Europea del Paesaggio (Firenze, 2000), il termine paesaggio "designa una determinata parte di territorio, così come è percepita dalle popolazioni, il cui carattere deriva dall'azione di fattori naturali e/o umani e dalle loro interrelazioni". Tale definizione dà importanza alla particolare natura estetica e percettiva del paesaggio, e sottolinea l'idea dell'evoluzione nel tempo dei paesaggi, sia per l'effetto di forze naturali che per l'azione degli esseri umani.

5.1 Stato dell'arte della letteratura scientifica in tema di valutazione di impatto ambientale e paesaggistico, con particolare riferimento agli impianti per la produzione di energia eolica ed agli aspetti paesaggistici: analisi critica.

Il tema dell'impatto paesaggistico degli impianti eolici e dei relativi criteri di analisi e mitigazione è oggetto di numerosi studi reperibili nella letteratura scientifica internazionale. Alcuni di questi sono rivolti ad implementare criteri di micro-siting originali finalizzati alla massimizzazione del rendimento dell'impianto, altri hanno come oggetto la percezione dei parchi eolici da parte delle popolazioni, altri ancora affrontano il tema da un punto di vista paesaggistico, secondo declinazioni riferite all'ecologia o all'architettura del paesaggio.

In particolare si evidenziano alcuni lavori che possono offrire un contributo verso un approccio applicabile alla realtà territoriale in esame.

Una prima pubblicazione considerata, di Bishop (2002), ha per titolo "Determination of thresholds of visual impact: the case of wind turbines". In essa si evince la possibilità di considerare gli impatti paesaggistici in un'area con raggio di circa 6 km, con centro in corrispondenza del parco eolico, indipendentemente dal numero di macchine installate. La metodologia prevede un'indagine a campione condotta sulla popolazione attraverso raffronto di immagini diramate attraverso un sito internet, metodo già usato dall'autore nel 1977 al fine di testare la percezione del paesaggio sulla popolazione di aree urbane e agricole. I modelli digitali e i rendering, impiegati nello studio, sono stati effettuati mediante applicativi GIS e considerando modelli di qualità visiva (Daniel e Boster, 1976; Shafer e Brush, 1977) e di impatto visivo (Iverson, 1985; Schroeder, 1988).

Un secondo studio analizzato si intitola "Spanish method of visual impact evaluation in wind farms", (Hurtado et al., 2003), con il quale gli autori introducono l'analisi paesaggistica legata ad una potenziale installazione eolica attraverso la generazione di una matrice d'impatto all'interno della quale vengono introdotti dei parametri di valutazione generati attraverso analisi delle componenti topografiche, svolte mediante software GIS e con valutazioni degli impatti percepiti dalla popolazione residente. I sistemi GIS permettono anche di effettuare analisi 3D di mappe e la restituzione grafica di diversi punti di vista sull'area studio, tecnica ripresa e sviluppata nell'articolo "Wind energy potential mapping in Karnataka, India, using GIS" (Ramachandra-Shruthi, 2004).

³ D'Angelo P., *Estetica della natura: bellezza naturale, paesaggio, arte ambientale*, Roma, Laterza, 2001

Hurtado et al. riferiscono che la Spagna negli ultimi anni ha sviluppato grandi parchi eolici che hanno messo in evidenza le carenze e le ambiguità legislative nelle procedure di valutazione di impatto ambientale, specialmente per ciò che concerne gli aspetti paesaggistici.

Le leggi nazionali e regionali spagnole, infatti, non specificano l'aspetto legato all'impatto paesaggistico e visuale, ma puntano principalmente l'attenzione sulla conservazione dell'ambiente e sull'impatto acustico.

Il metodo descritto prevede l'utilizzo e l'analisi sia di dati topografici che di informazioni riguardanti la distribuzione della popolazione, attribuendo una scala di valori al livello di impatto paesaggistico stimato.

Per prima cosa è necessario realizzare attraverso un GIS la rappresentazione 3D dell'orografia dell'area oggetto di studio per un'estensione sufficiente a comprendere i principali insediamenti abitativi. I dati di partenza possono provenire sia da rilievi topografici di dettaglio che da carte tecniche in cui siano riportati punti quotati e isoipse.

Il secondo passo consiste nell'attribuzione delle altezze effettive degli aerogeneratori e la loro quota sul livello del mare al fine di permettere l'intersezione di queste con la superficie matematica generata.

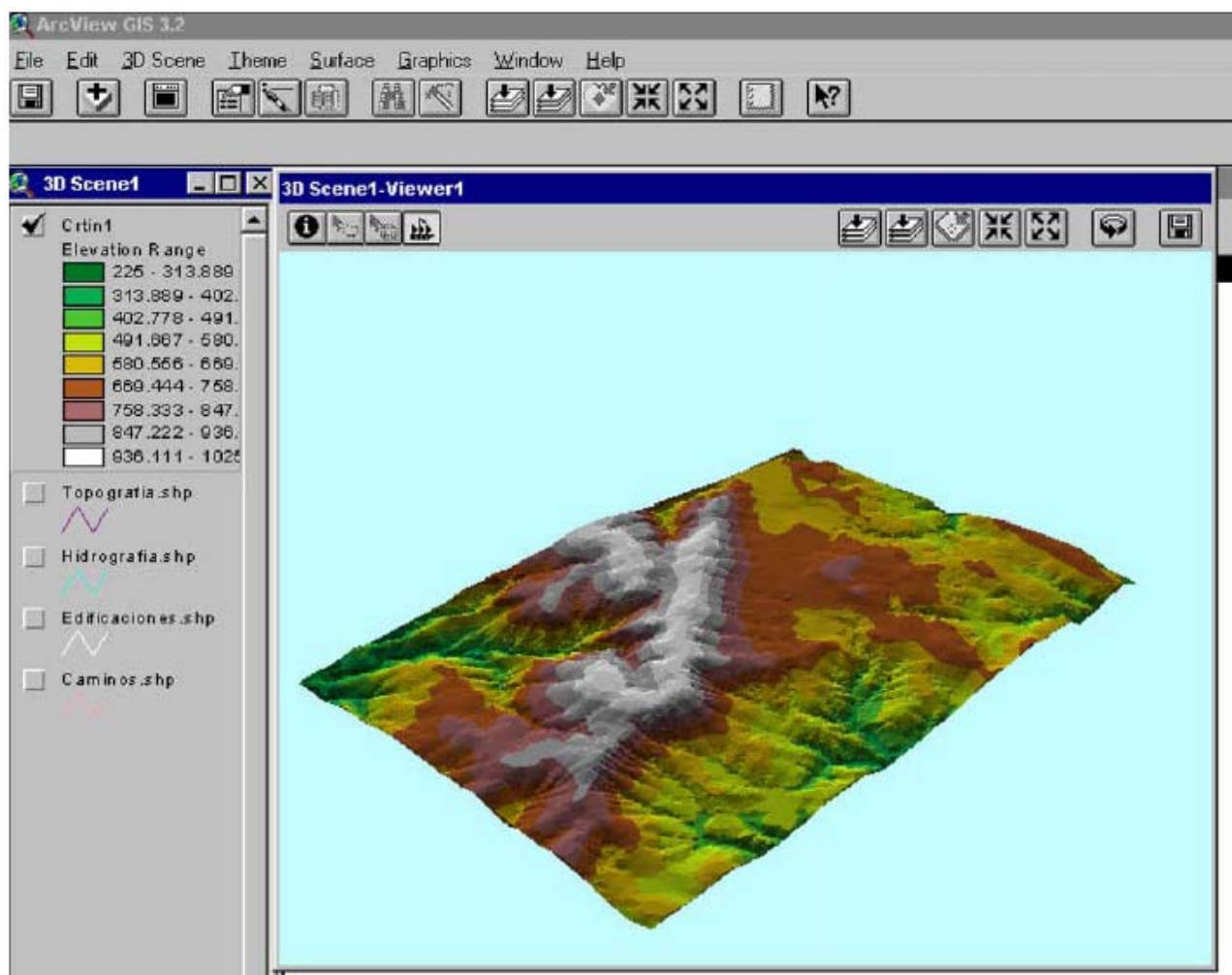


Fig.5.1.1 Proiezione del DEM (Digital Elevation Model)

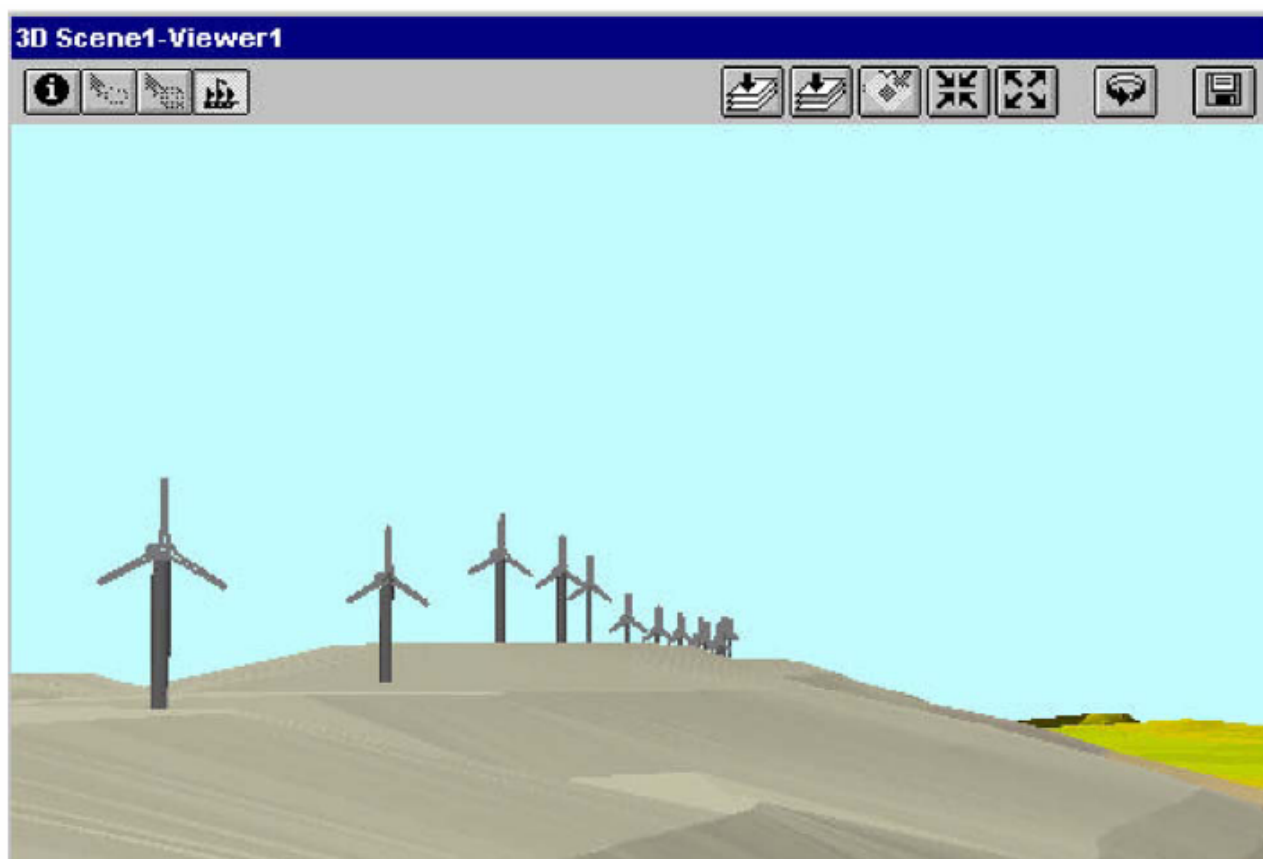


Fig.5.1.2 Ricostruzione del parco sul DEM

Attraverso l'estensione 3D analyst è possibile generare diverse prospettive della zona con un raffronto attraverso fotografie di dettaglio (fig.5.1.1-5.1.2).

Una volta preparato il modello digitale del terreno, si procede al calcolo della matrice di valutazione dell'impatto visuale, che permette di valutare i differenti effetti per ogni insediamento abitativo.

A tal fine, il primo parametro da determinare è il coefficiente di visibilità dagli insediamenti abitativi. Questo coefficiente varia da zona a zona all'interno dell'area urbana ed è funzione della prospettiva offerta in direzione del bersaglio visivo, ovvero il parco eolico. Per questa ragione si attribuisce un valore medio attraverso la seguente espressione:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{X_i}{WM}}{n}$$

Dove n è il numero di aree interne all'abitato che hanno differenti punti di vista verso il potenziale parco eolico, X_i il numero di macchine visibili dall'area i -sima e WM il numero totale di aerogeneratori previsti.

Il secondo parametro da calcolare è definito coefficiente di visibilità dell'abitato dal parco eolico (coefficiente b). Questo parametro permette l'analisi spostando il punto di osservazione dalle aree abitative all'area oggetto dello studio. Il coefficiente b è determinato dal rapporto tra il numero di abitazioni visibili e il numero totale di case presenti nell'abitato.

Un ulteriore parametro, coefficiente c , viene definito in riferimento alla dislocazione spaziale del parco rispetto l'abitato. Il procedimento per la determinazione del coefficiente prevede di schematizzare il volume del parco all'interno di un parallelepipedo (figura 5.1.3); successivamente si definisce un valore v che è tabulato (tabella 5.1.1) in base all'angolo di

incidenza tra l'asse principale di detto parallelepipedo e la congiungente del parco eolico con l'area abitata (si veda figura 5.1.3).

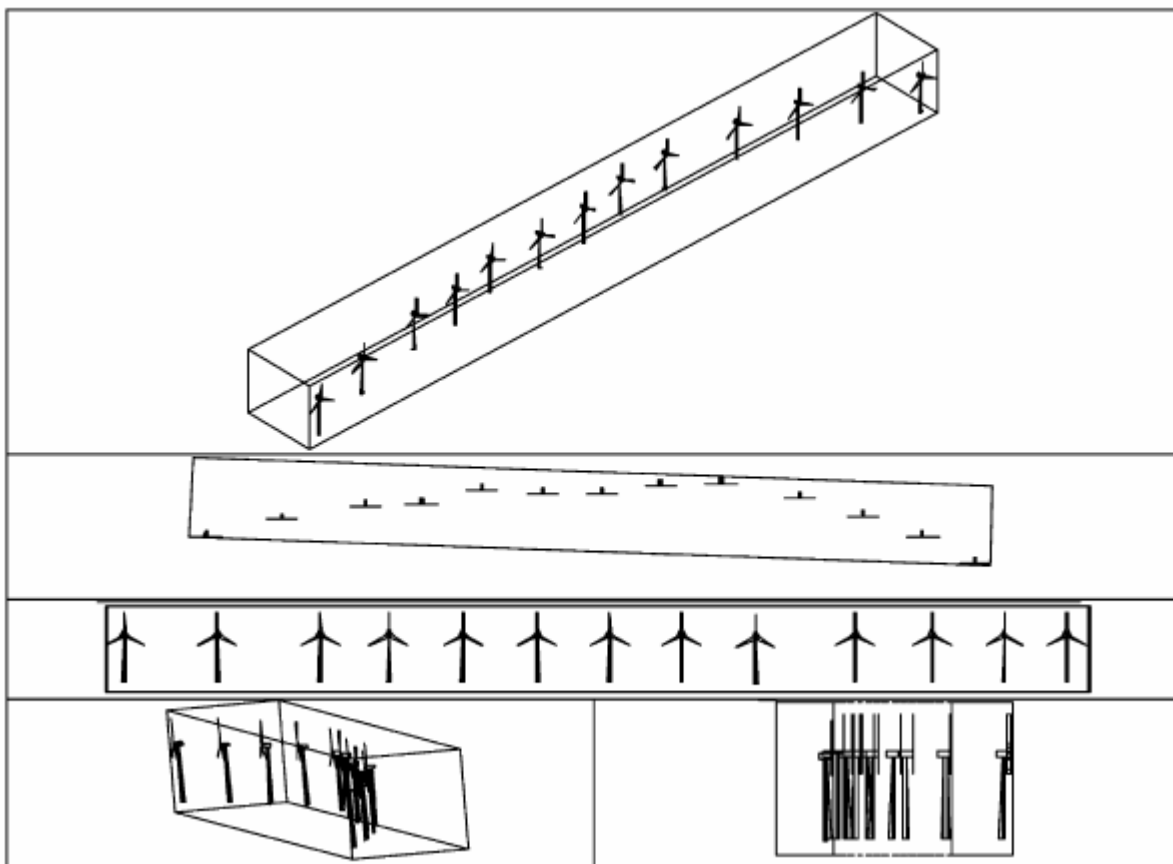


Fig.5.1.3 Definizione del volume occupato dal parco eolico mediante approssimazione a un parallelepipedo.

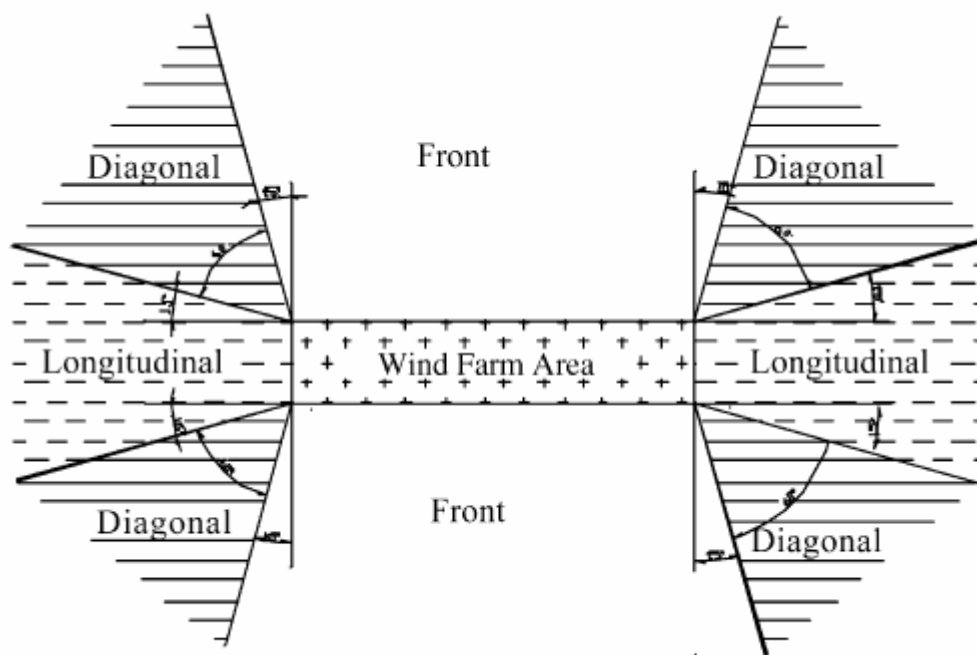


Fig.5.1.4 Punti di vista del parco.

Dalla definizione del presente parametro emerge che esso rende conto di quanto può essere compromessa la *sky-line* del paesaggio dal punto di vista di un centro abitativo.

Tab. 5.1.1 Valori di v in funzione del punto di vista

View	v factor
Frontal	1.00
Diagonal	0.50
Longitudinal	0.20

Il valore di c risulta così definito da:

$$c = v \cdot n$$

dove n è il fattore di correzione da applicare in funzione di del numero di macchine installate, secondo quanto riportato in tabella 5.1.2.

Tab. 5.1.2 Valori di n in funzione del numero di macchine,

Number of windmills	n factor
1–3	0.50
4–10	0.90
11–20	1.00
21–30	1.05
>30	1.10

L'ultimo parametro (coefficiente d) legato alle caratteristiche topografiche è quello associato alla distanza presente tra l'area dell'intervento e il nucleo abitativo che per valori superiori a 6000 metri definisce un impatto minimo. Per valori inferiori ma superiori a 500 m è prevista una dipendenza lineare, mentre il coefficiente d è pari a 1 (valore massimo) per distanze inferiori ai 500 m (si veda tabella 5.1.3).

Tab. 5.1.3 Valori coefficiente d in funzione della distanza.

x distance	d coefficient
$x < 500$ m	1.00
$500 < x < 6000$ m	$1.05 - 0.0002 * x$
$6000 \text{ m} < x$ (if WF visible)	0.10

I parametri precedentemente descritti offrono la possibilità di proporre un'analisi basata solamente sulle caratteristiche territoriali della potenziale zona di impatto attraverso la seguente equazione:

$$PA1 = a \cdot b \cdot c \cdot d$$

che determina il valore del fattore di valutazione PA1, evidentemente compreso fra 0 (impatto nullo) e 1 (impatto massimo). Esso può appartenere ad una delle classi riportate in tabella 5.1.4.

Tab.5.1.4

Partial assessment	Impact level
0.00–0.10	Minimum
0.10–0.30	Light
0.30–0.50	Medium
0.50–0.70	Serious
0.70–0.90	Very serious
0.90–1.00	Deep

Con riferimento ai valori di tabella 5.1.4, le classi del fattore PA1 sono così definite:

- “minimum”: l'installazione del parco eolico non ha alcun impatto visivo;

- “light”: l’impatto decresce utilizzando una colorazione appropriata e coperture vegetali in prossimità dei centri abitati;
- “medium”: in questo caso è necessario ridefinire, se possibile, la dislocazione del parco;
- “serious”: va ripensata la dislocazione di ogni singola macchina;
- “very serious”: l’intero parco va riprogettato in una nuova località;
- “deep”: non ci sono ragioni giustificate per realizzare il parco nell’area studio.

Nella condizione in cui vi siano presenti nuclei insediativi nelle prossimità del parco eolico, si deve sicuramente considerare il potenziale impatto sulle persone, in particolar modo sui residenti attraverso. Al fine di considerare il peso in termini di popolazione residente dei centri abitati ricadenti nell’area di influenza di un impianto eolico, viene introdotto un apposito coefficiente e . Esso varia da 0 a 1 in funzione del numero di residenti, secondo le classi riportate in tabella 5.1.5.

Tab.5.1.5

Number of people	e coefficient
>300	1.00
100–300	0.90
50–100	0.60
20–50	0.45
5–20	0.35
1–5	0.20
0	0.00

L’equazione che esprime il fattore di valutazione dell’impatto su un sito abitato (PA2) tenendo conto del diverso peso dei centri in termine di popolazione residente, diventa quindi:

$$PA2 = a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e$$

I livelli dell’impatto possono essere desunti utilizzando la sopra riportata tabella 5.1.4.

5.2 Messa a punto di una metodologia idonea all’area studio e sua applicazione.

Sulla base delle valutazioni espone nel capitolo precedente le aree che potenzialmente possono ospitare parchi eolici vista l’orografia e i vincoli ambientali ed urbanistici sono state individuate e vengono riportate nella cartografia di figura 5.2.1.

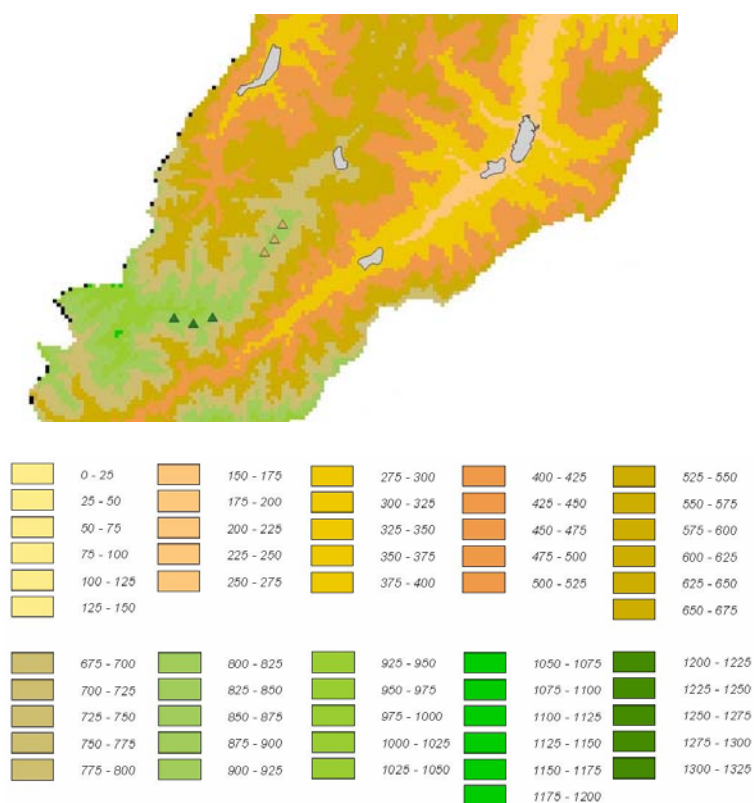


Fig.5.2.1 Localizzazione aree idonee al accogliere installazioni eoliche. I triangoli indicano i possibili posizionamenti delle pale per ciascuno dei due possibili siti.

Successivamente utilizzando la base del DEM precedentemente elaborato, è stata svolta un'analisi di intervisibilità, al fine di individuare quelle aree dalle quali gli aerogeneratori di 65 metri di altezza al rotore e 58 metri di diametro delle pale, fossero visibile da possibili punti di vista situati ad un'altezza di 2m da terra. I risultati sono esposti nell'acartografia di figura 5.2.2, nella quale sono altresì evidenziati i centri abitati interessati.

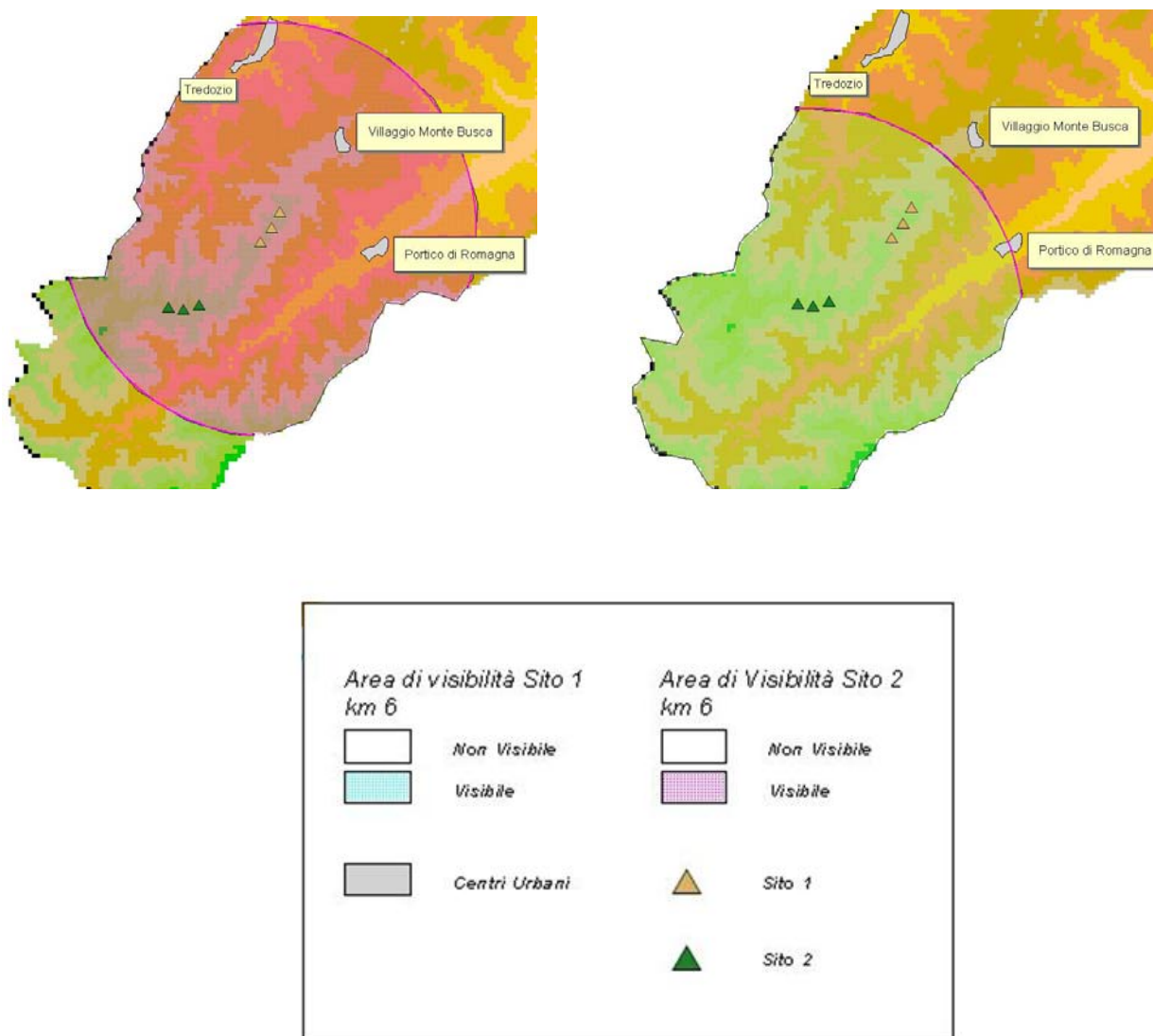


Fig. 5.2.2 Analisi di intervisibilità rispetto ai due possibili siti.

Dalle valutazioni fatte su base GIS si è provveduto ad applicare i coefficienti topografici, strutturali e di popolazione alla matrice di valutazione proposta nel modello di Hurtado et al. (2003)". Tale criterio di quantificazione dell'impatto è infatti stato ritenuto idoneo a consentire una comparazione dei livelli di impatto connessi ai due possibili siti di localizzazione dell'impianto.

Si è così proceduto a determinare i coefficienti *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, riferiti ai due possibili siti ipotizzati e ai vari centri abitati coinvolti. Questi sono stati individuati considerando congiuntamente l'analisi di intervisibilità ed i limiti della soglia di visibilità quantificata pari a 6 km dagli impianti, in base ad autorevoli studi presenti nella letteratura internazionale (Bishop, 2002). I centri abitati ricadenti oltre a tale soglia non sono stati considerati nella valutazione, coerentemente con gli assunti formulati.

Coefficiente a

Sito 1: essendo soggette a impatto visuale tutte e tre le aree urbane (Portico di Romagna, Villaggio Monte Busca e Tredozio) il coefficiente a di visibilità risulta essere pari a 1.
 Sito 2: nel caso del secondo sito, l'unica area urbana interessata da potenziale impatto paesaggistico, è quella di Portico di Romagna, per la quale si è valutata la percentuale di territorio impattato. Il coefficiente a per il sito 2 risulta così essere pari a 0,5.

Coefficiente b

Il coefficiente b esprime il numero di abitazioni esposte sul numero totale di abitazioni.

Sito 1: $b = 1$ per i tre centri abitati di Portico di Romagna, Villaggio Monte Busca e Tredozio.

Le intere aree urbane sono infatti visibili dal sito.

Sito 2: $b = 0,5$ per l'abitato di Portico di Romagna.

Coeff. di ingombro spaziale c

Si è passati alla definizione del coefficiente v che dipende dall'ingombro spaziale dell'opera e dalla sua dislocazione.

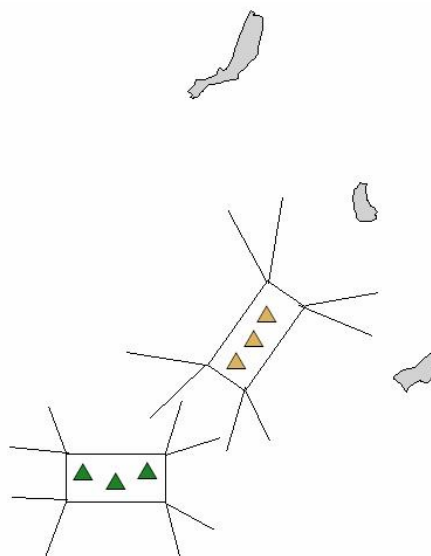


Fig.5.2.3 Prospetti orientamento installazioni rispetto ai centri urbani.

Come visto in tab.5.1.1, i valori del coefficiente sono espressi in funzione di come gli impianti sono orientati rispetto ai centri urbani. Inoltre per la definizione del coefficiente c definito di visibilità è necessario considerare il numero delle macchine previste.

Sito 1, $n = 0,5$;

Portico di Romagna: $v = 1$; $c = 1 \times 0.5 = 0.5$

Tredozio: $v = 0,5$; $c = 0.5 \times 0.5 = 0.25$

Villaggio Monte Busca: $v = 0,2$; $c = 0.2 \times 0.5 = 0.1$

Sito 2, $n = 0,5$;

Portico di Romagna = $0.5 \times 0.5 = 0.25$

Coefficiente di distanza dei siti dalle aree urbane d.

Per la definizione di questo coefficiente utilizzando il GIS si è proceduto alla misurazione della distanza del parco (baricentro) dal centro dell'area urbana e alla successiva raffrontate attribuzione dei valori previsti nella tab.5.1.3.

Sito 1

Portico di Romagna: distanza = 3000 m; $d = 0.45$

Tredozio: distanza = 5000 m; d = 0.05
 Villaggio Monte Busca: distanza = 3000 m; d = 0.45.
 Sito 2
 Portico di Romagna: distanza = 6000 m; d = 0.1.

Coefficiente di popolazione e

Ultimo coefficiente necessario alla definizione della magnitudo d'impatto paesaggistico dei siti è quello che tiene conto della popolazione residente alla quale si fa riferimento in tab.5.1.5 e ai risultati dell'ultimo censimento ISTAT disponibile che fornisce il numero dei residenti (tabella 5.2.1).

Tab. 5.2.1 Residenti per località, ISTAT 2003

Portico di Romagna	871
Tredozio	1328
Villaggio Monte Busca	80

Sito 1

Portico di Romagna: e = 1
 Tredozio: e = 1
 Villaggio Monte Busca: e = 0.6

Sito 2

Portico di Romagna: e = 1

Indice d'impatto visuale.

Dalla definizione dei parametri precedentemente descritti si definiscono i valori corrispondenti d'impatto secondo l'equazione che tiene conto sia delle caratteristiche fisiche dell'area, sia del peso della popolazione residente:

$$PA2 = a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e :$$

Sito 1

Portico di Romagna: PA2 = 0.225
 Tredozio: PA2 = 0.0125
 Villaggio Monte Busca: PA2 = 0.027
 TOTALE PA2TOT = 0.26

Sito 2

Portico=0.0625
 TOTALE PA2TOT = 0.0625

Da raffronto con la tab.5.1.8 si desumono i seguenti impatti:

Sito 1

Portico: impatto di classe "light"

Tredozio: impatto di classe “light”
Villaggio Monte Busca: impatto di classe “minimum”

Sito 2
Portico: impatto di classe “minimum”

L’analisi di impatto visuale comparativa svolta porta ad esprimere una netta per il sito 2, il quale produrrebbe un livello di impatto molto inferiore rispetto al sito 1. Tale risultato è valido sia nel confronto sull’impatto su ogni singolo centro abitato, sia confrontando l’impatto complessivo dei due siti. Il totale dei fattori PA2 relativi al sito 1 è infatti più che quadruplo rispetto a quello del sito 2.

All’analisi dell’impatto visuale occorre tuttavia associare le analisi di impatto potenziale sulle altre componenti e risorse costituenti il sistema ambientale e paesaggistico dell’area.

5.3 Analisi dell’impatto potenziale su ciascuna delle risorse individuate:

5.3.1 Impatto Acustico

Il recente sviluppo tecnologico nel campo degli aerogeneratori ha consentito un notevole contenimento delle emissioni sonore derivanti dall'esercizio delle moderne installazioni eoliche. Questo risultato è stato raggiunto in due modi:

- attraverso un progresso significativo nella riduzione degli attriti delle singole turbine;
- posizionando un numero minore di torri eoliche, a parità di potenza totale installata, grazie alla disponibilità di macchine sempre più potenti ed efficienti e posizionando le turbine in maniera che non avvengano sovrapposizioni dei campi sonori.

La tabella 5.2.1 che segue riporta alcuni valori di riferimento nella scala decibel (A).

Come noto, essa misura l’intensità del suono su tutta la gamma delle frequenze udibili e quindi utilizza un sistema che tiene conto della sensibilità umana alle differenti frequenze. Si tratta di una scala logaritmica: duplicando l’energia del suono, l’indice incrementa di circa 3 dB(A). Quindi, ad esempio, un livello sonoro di 100 dB(A) contiene circa il doppio dell’energia di un livello sonoro di 97 dB(A). Occorre inoltre tenere presente che la propagazione delle onde sonore decade secondo il quadrato della distanza dall’origine del suono.

Tab.5.3.1 Valori di riferimento intensità sonore.

Livello sonoro:	Soglia dell'udito	Sospiro	Conversazione	Traffico cittadino	Concerto rock	Motore di un jet a 10 m
dB(A):	0	30	60	90	120	150

Nel caso in esame, per una singola torre eolica (emissione indicativa = 103 dB(A)), alla distanza di 100 m dalla base si registrerà un livello sonoro di 50-54 dB(A); a 300 m di distanza si avranno 44 dB(A), corrispondenti al rumore presente in un’abitazione tranquilla.

Per quanto riguarda la tutela nei confronti degli insediamenti abitativi, elemento di cruciale importanza in fase di progettazione, bisogna inoltre considerare che in un parco eolico le emissioni sonore dei singoli aerogeneratori sono soggette ad un effetto cumulativo.

Bisogna tuttavia osservare che le massime emissioni sonore di un impianto eolico si registrano in condizioni di alta ventosità, circostanza in cui vi è comunque un elevato rumore di fondo generato dall'azione del vento su foglie, tronchi, rocce e tutto l'ambiente circostante. In una giornata ventosa tale rumore di fondo difficilmente può essere distinto da quello prodotto dai generatori eolici. E' comunque necessario valutare l'immissione aggiuntiva (rumore di fondo + rumore imputabile all'impianto), onde assicurare che non venga superata la soglia di accettabilità stabilita per la classe di appartenenza dell'area in esame.

Lo stato di fatto della componente rumore nell'area di studio è quella di una località montana, priva di insediamenti abitativi ed industriali, il cui unico apporto antropico proviene dal modesto traffico veicolare presente sulla strada statale SS67.

L'area, esterna all'abitato, può essere configurata come zona mista agricola / residenziale e rientrare quindi nella classe III di destinazione d'uso ai sensi del DPCM 1 marzo 1991.

Come misura cautelativa, i calcoli relativi all'impatto acustico sono stati effettuati senza tenere conto della riduzione dell'emissione sonora a seguito dell'assorbimento della stessa da parte di ostacoli quali barriere naturali, alberi o altre costruzioni, ma solamente in funzione del DEM.

Gli aerogeneratori dotati della tecnologia pitch control possono essere regolati agendo sul passo variabile delle pale, in funzione della potenza e delle emissioni acustiche che si vogliono ottenere. Le turbine di classe 850kW presenti oggi sul mercato possono operare a diversi livelli di emissioni in base alla velocità del vento ed alle impostazioni del sistema di controllo.

L'impatto acustico è studiato con l'ausilio del software specializzato Windfarm che, in base all'orografia su mappa 3D dell'area, al lay-out ed allo sviluppo in ottave di frequenza della potenza sonora emessa da ciascuna turbina, impiega modelli matematici di propagazione della pressione sonora fornendo le curve isofoniche sulla mappa di riferimento.

Il modello matematico applicato per il calcolo dell'emissione acustica ha considerato un livello di emissione per i singoli generatori di 104 dB(A), alla velocità del vento di 8 m/s, (figure 5.3.1 e 5.3.2).

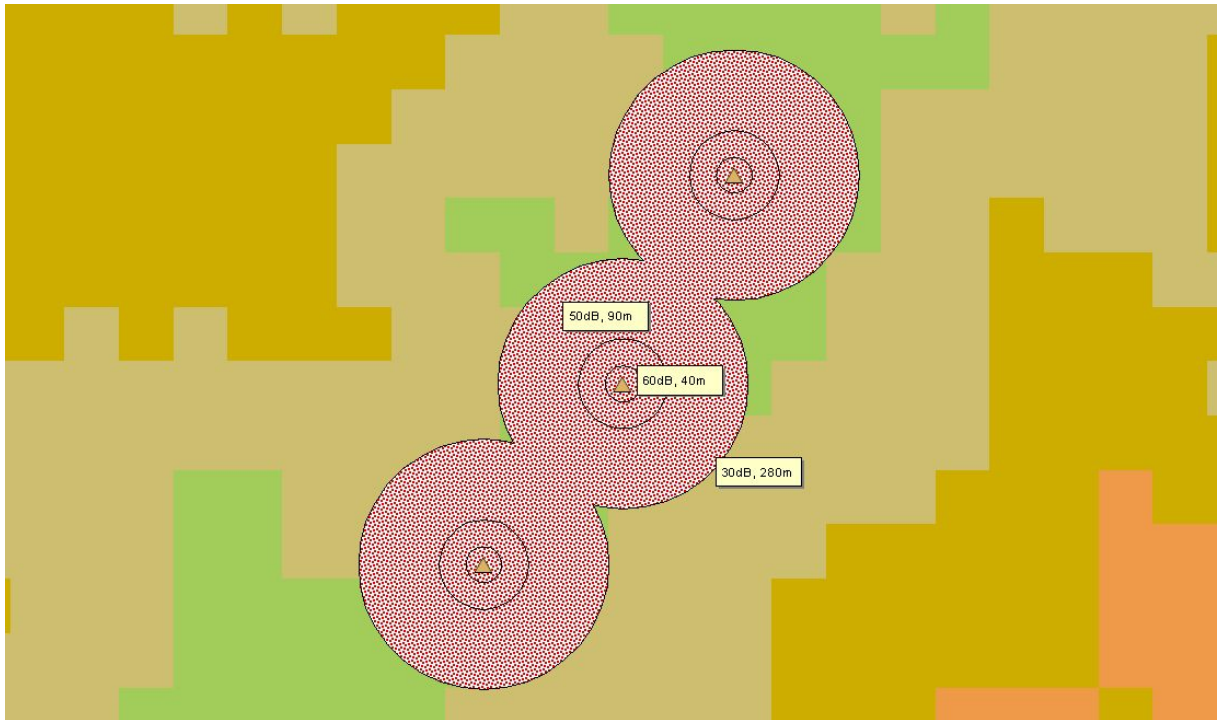


Fig 5.3.1 Analisi Rumore Sito 1



Fig. 5.3.2 Analisi Rumore Sito 2

Dall'analisi sull'impatto proveniente dal rumore emerge che le condizioni di disagio maggiore si avrebbero in prossimità della macchina; già ad una distanza pari a 100 metri il rumore percepito è pari a quello generato da una macchina da scrivere. A 280 metri circa il rumore si abbassa ulteriormente fino a valori prossimi a quelli di una conversazione. Va inoltre considerato che questi livelli sono stati calcolati partendo da velocità del vento pari a quelle necessarie al raggiungimento della produzione di energia nominale (850kW), ovvero superiore ai 16 m/sec.

In queste condizioni il rumore prodotto dal vento stesso può superare i 40 dB se questo ad esempio attraversa zone boscate.

Inoltre si osserva che nella zona non sono presenti aree urbane o insediamenti abitativi, per cui non si corre il rischio di esporre i residenti ad un impatto continuo e prolungato nel tempo.

Tab.5.3.2 Valori di riferimento intensità sonore in dB durante normali attività umane.

FENOMENO	dB
soglia di udibilità	0
conversazione normale	30-40
macchina da scrivere	50-70
automobile	80-90
gru	100-110
aereo a reazione	120-130
soglia del dolore	140

5.3.2 Interventi di mitigazione

Nella realizzazione di parchi eolici è necessario prevedere interventi volti a favorire l'insediamento di una copertura vegetale sulla superficie di terreno nudo derivato dallo scavo e dalle attività di cantiere. La vegetazione erbacea, infatti, grazie alla sua capacità di colonizzare precocemente il suolo, riveste un ruolo fondamentale nel limitare l'azione erosiva delle acque meteoriche, impedendo l'asportazione delle particelle superficiali del terreno, per cui il suo sviluppo può risultare determinante per un successo finale di sistemazione dell'area. Tra i diversi metodi di ripristino ambientale si dovrebbero utilizzare semine a spaglio con miscugli di sementi idonee, integrate dall'uso di reti, stuoie o tessuti di materiali naturali (juta, cocco, paglia..) per favorire la germinazione dei semi e quindi concorrere ad una più rapida riuscita del rinverdimento. Le reti o le stuoie di origine naturali sono biodegradabili e presentano la capacità di incrementare la fertilità del terreno in seguito alla loro decomposizione ed al conseguente apporto di sostanza organica. Si rendono inoltre necessari lavori di manutenzione da adottare quali: concimazioni e, ove possibile, irrigazioni per permettere di superare al manto erbaceo in formazione i periodi più siccitosi.

Al fine di utilizzare specie autoctone è necessario utilizzare il "fiorame" ossia materiale vegetale derivato da un precedenti sfalci realizzati in aree limitrofe a quella di intervento. La scelta delle specie autoctone potrà garantire un effettivo successo delle operazioni di semina. La rapida colonizzazione del substrato ed il successivo consolidamento della cotica erbosa di queste specie frugali e di facile attecchimento può garantire mediante una recinzione temporanea al fine di evitare il calpestio dell'area nei primi mesi successivi all'impianto.

5.3.3 Impatto sulla fauna

La fauna della zona, è quella tipica dell'Appennino settentrionale.

Sulla base delle indicazioni tratte dalla Carta Vocazionale del territorio provinciale si presume la presenza delle seguenti specie di vertebrati all'interno dell'area di intervento:

- Cervo (*Cervus elaphus*): presente in questi territori fin dal passato, appare ora in costante espansione nel territorio provinciale, ampliando il proprio areale anche verso fasce altitudinali inferiori ai 500 metri.

- Capriolo (*Capreolus capreolus*): la popolazione di caprioli presente nel territorio provinciale è la più importante a livello regionale. Pur essendo sempre stato considerato un “animale da bosco”, studi recenti confermano che la sua presenza è regolata anche da una buona percentuale di aree aperte, soprattutto coltivi ed arbusteti.

- Cinghiale (*Sus scrofa*): ungulato maggiormente diffuso, il suo rapido incremento è stato favorito dalle modificazioni dell’assetto agricolo avvenuto a partire dal dopo guerra con lo spopolamento delle aree montane e le ripetute immissioni. Molto spesso, troppo, queste immissioni sono avvenute abusivamente con cinghiali provenienti dai paesi dell’Est Europa o ancora peggio con maiali allo scopo di aumentarne il peso e la prolificità.

- Lepre (*Lepus europaeus*): distribuita uniformemente su tutto il territorio provinciale pur con notevoli variazioni locali e stagionali della densità. In un precedente studio la specie risultava numerosa ad altitudini superiori ad 800 metri.

- Lupo (*Canis Lupus*): incerto ma probabile l’occasionale passaggio del lupo. L’uso dell’habitat dipende in larga parte dal tipo di preda o risorsa alimentare di cui si nutre; se si eccettuano i siti di riproduzione, il lupo frequenta gli stessi ambienti frequentati dalle sue prede o quegli ambienti dove può reperire altre fonti di cibo, come rifiuti e vegetali.

Sono presenti il Tasso (*Meles meles*), la Donnola (*Mustela nivalis*) e la Faina (*Martes foina*); sembra anche la Puzzola (*Mustela putorius*), classificata come specie di interesse Comunitario.

Tra i roditori sono presenti l’istrice, lo scoiattolo e il ghio; tra i pipistrelli il ferro di cavallo minore e il vespertillo di daubenton.

L’avifauna annovera diverse specie. Legate alle aree prative per la nidificazione vi sono albanella minore, succiacapre e calandro. Il falco pecchiaiolo nidifica irregolarmente, mentre di spicco è la nidificazione del lodaio. Tra i rapaci diurni presenti anche il gheppio e la poiana. Tra i rapaci notturni si riscontrano l’allocco, il barbagianni, la civetta e l’assiolo. I passeriformi legati agli ambienti aperti, di macchia e forestali, costituiscono in numero di specie la realtà più ricca di uccelli. Presenti anche alcuni corvidi, come la gazza, la ghiandaia (negli ambienti boschivi) e la cornacchia grigia.

La fauna vertebrata minore ha come presenze significative tra gli anfibi il tritone crestatto e l’ululone appenninico e tra i rettili il colubro d’esculapio e il saettone.

Per gli insetti la significatività è data dalla presenza della farfalla Euplagia quadripunctaria e dai coleotteri forestali Cerambix cerdo e Lucanus cervus.

Gli ecosistemi presenti sono il prato pascolo ed il bosco.

Il prato pascolo è un ecosistema originato dall’intervento antropico di diboscamento dei crinali montani che ha consentito la diffusione di specie erbacee naturalmente presenti nelle radure montane. L’azione del pascolo non consente la rinnovazione arborea e la conseguente evoluzione verso lo stadio climax della faggeta. La comunità è formata prevalentemente da Graminacee e Leguminose, dotate di apparati sotterranei per sopravvivere nel periodo invernale sotto la coltre nevosa. L’abbondanza di letame può portare alla comparsa di specie nitrofile come la felce aquilina (*Pteridium aquilinum*). Nei prati in disuso si assiste alla progressiva colonizzazione da parte di arbusti eliofili come la rosa canina (*Rosa canina*), il prugnolo (*Prunus spinosa*) il rovo (*Rubus ulmifolius*), il biancospino (*Crataegus monogyna*).

La grande diversità specifica di quest’ambiente è legata alle attività di fienagione e del pascolo: con l’abbandono delle pratiche e la chiusura progressiva delle aree aperte, scompaiono anche le specie legate a questi ambienti mantenuti aperti ed efficienti appunto dalle pratiche agro- pastorali.

Il bosco risente anch’esso dell’azione antropica che ha selezionato le specie di maggiore interesse forestale, in questo caso il faggio. Il bosco possiede un ruolo ecologico definito nella protezione del suolo, nella produzione di ossigeno, nell’assorbimento di anidride carbonica che viene mobilizzata nella biomassa legnosa, nel riparo dal vento.

Quest'ambiente è utilizzato dall'uomo per la produzione di biomassa legnosa per il riscaldamento domestico. I periodi di ceduzione sono in genere a turno breve.

L'abbandono delle pratiche di governo da parte dell'uomo, in corso attualmente, prefigura un'evoluzione graduale verso la foresta.

Gli impatti potenzialmente attesi a carico della componente faunistica si configurano come:

- sottrazione di habitat;
- disturbo indotto da rumori ed attività;
- eventuale interferenza con rotte migratorie, possibilità di collisione.

Gli interventi ipotizzati non costituiscono un'interruzione dei corridoi ecologici esistenti, né concorreranno a variazioni significative delle popolazioni presenti nell'area. I lavori, di limitata estensione, si potranno ridurre al posizionamento degli aerogeneratori, ed alla creazione di una breve pista di accesso alle piazzole di cantiere; l'occupazione di suolo e la conseguente sottrazione di habitat è quindi minima. L'impatto dunque risulta trascurabile.

Il rumore prodotto dagli aerogeneratori in fase di esercizio è di entità tale da non recare alcun disturbo alle specie della fauna. Gli impatti sulla fauna "terrestre" sono considerati trascurabili. La pluriennale esperienza nel campo ha infatti confermato che in presenza di un impianto eolico permane la quasi totale disponibilità del territorio per la fauna, compreso il bestiame da pascolo; maggiore attenzione è invece dedicata agli uccelli.

Nonostante l'elevata diffusione degli impianti eolici in paesi ad elevata sensibilità alle problematiche di salvaguardia dell'ambiente (Danimarca, Olanda, Germania, Gran Bretagna, Canada), sono estremamente ridotti i documenti bibliografici che riportino fenomeni estesi di impatti dell'avifauna conseguenti all'installazione degli aerogeneratori. Gli uccelli migratori sembrano adattarsi alla presenza dei nuovi ostacoli. Il numero delle collisioni è comunque considerevolmente inferiore a quello che già si verifica contro le linee elettriche aeree o sulla viabilità stradale.

Nel caso in esame, le azioni che assumono maggior importanza sono quelle di disturbo derivanti dall'attività del cantiere insediato per la realizzazione dell'opera a causa della circolazione di mezzi meccanici e la conseguente diffusione di rumore nell'ambiente. Si tratta in tutti i casi di un impatto temporaneo e reversibile.

Si può ritenere inoltre trascurabile l'impatto dovuto ad interferenza con le migrazioni, in quanto la zona non interessa le principali rotte migratorie, ed il rischio di collisione con le pale del rotore risulta quindi notevolmente ridotto. Inoltre, da ricerche bibliografiche di studi scientifici specifici, è dimostrato che gli uccelli identificano ed evitano ostacoli visibili presenti sulla loro rotta, cambiando direzione 100-200 metri prima degli aerogeneratori e passandoci sopra a distanza di sicurezza. È inoltre dimostrato che per l'avifauna le linee dell'alta tensione sono molte più pericolose degli aerogeneratori di ultima generazione.

Nel caso dei siti ipotizzati si sottolinea che:

- non sono stati evidenziati percorsi migratori;
- vengono usati aerogeneratori di ultima generazione, a lenta velocità di rotazione;
- è rispettata una distanza minima di circa 250 m tra le torri;
- non vengono utilizzati tralicci ma torri coniche, più visibili per l'avifauna;
- non sono previste linee elettriche aeree grazie alla vicinanza con la rete viaria sotto la quale è possibile prevedere l'interramento degli elettrodotti.

In Italia in seguito all'installazione di oltre 900 MW non sono stati documentati episodi significativi di collisione con l'avifauna e di minaccia di specie di elevato valore conservazionistico (Rapporto Legambiente, 2005).

In numerosi siti sono in corso specifici programmi di monitoraggio post operam.

Gli interventi di mitigazione possibile sono di seguito elencati:

- rinaturalizzazione, al termine dei lavori di costruzione dell'impianto, di tutte le nuove superfici che si sono create per ricavare le strade di servizio e le zone di cantiere;
- colorazione vistosa di alcune torri eoliche (peraltro imposta dall'Autorità Aeronautica) per diminuire l'eventualità di impatti con l'avifauna, compatibilmente con le indicazioni recenti linee guida in materia di tutela del paesaggio;
- le fasi di costruzione dell'impianto devono essere principalmente concentrate nel periodo luglio-dicembre, salvaguardando il periodo riproduttivo della maggior parte delle specie animali;
- al fine di eliminare i rischi di elettrocuzione e collisione, le linee elettriche dovrebbero essere completamente interrate ed i trasformatori posti in cabina.

5.3.4 Rendering delle aree individuate ad accogliere parchi eolici



Fig. 5.3.3 Rendering Sito 1



Fig. 5.3.4 Rendering Sito 1



Fig. 5.3.5 Rendering Sito 2



Fig. 5.3.6 Rendering Sito 2

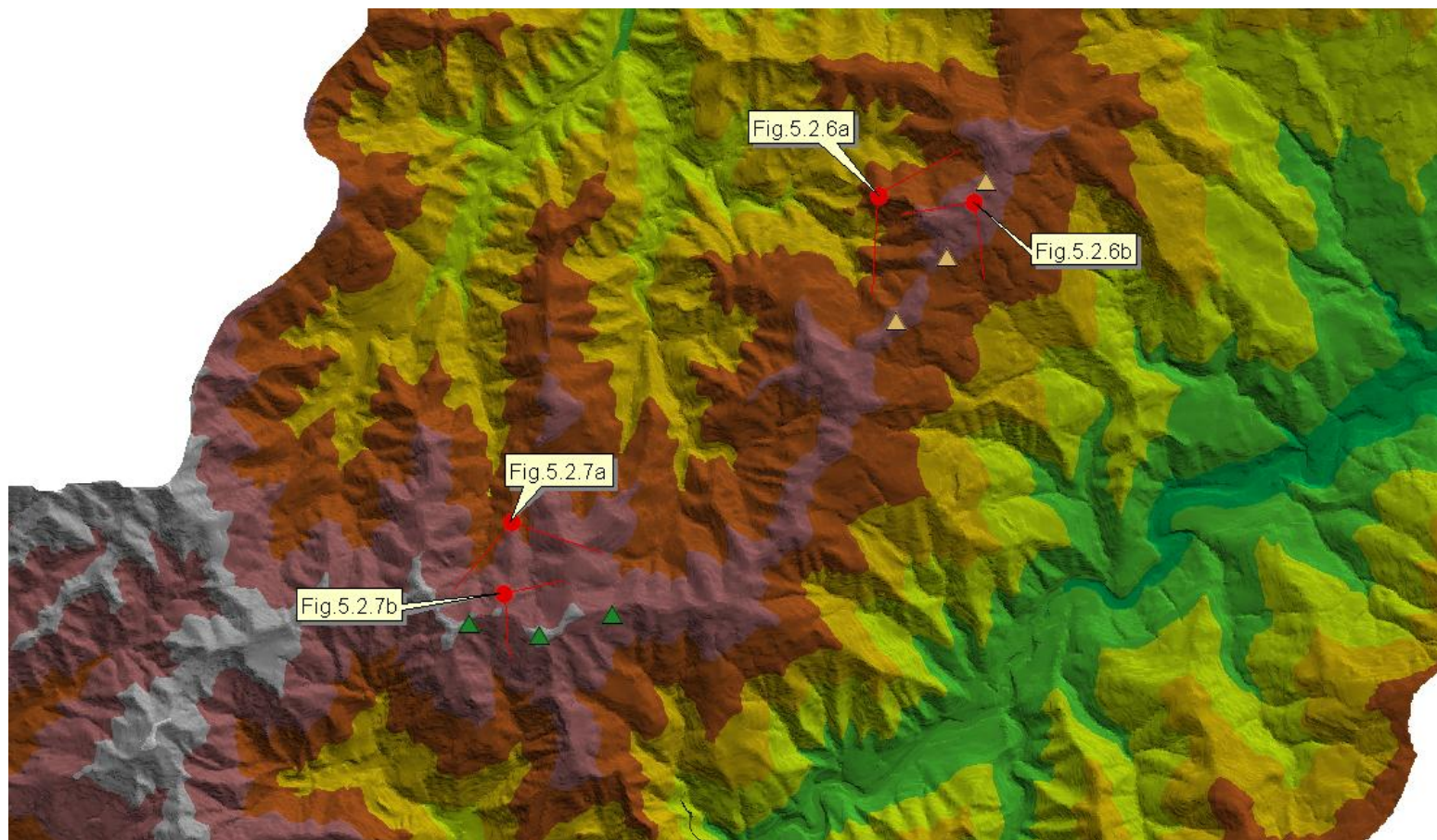


Fig. 5.3.7 Posizionamento Rendering

Le modellazioni di rendering, fig.5.3.3, 5.3.4, 5.3.5, 5.3.6 e 5.3.7, sono state ottenute mediante interpolazione del DEM generato per le valutazioni di produttività dei siti e per l'analisi del rumore, sovrapponendo ad esso fotografie digitali ottenute mediante sopralluoghi sulle aree selezionate. Al fine di determinare condizioni il più simili a quella che potrebbe essere la realtà è stato necessario ritoccare i livelli di luminosità adattandoli alle condizioni meteo al momento del sopralluogo mediante modulo del software WindFarm.

CAPITOLO 6

Conclusioni

La ricerca svolta ha preso in esame le principali fonti rinnovabili di energia, al fine di delinearne le possibilità di impiego in un ambito territoriale montano. In particolare è stata assunta a riferimento quale area studio la Comunità Montana Acquacheta, in provincia di Forlì-Cesena, nella regione Emilia-Romagna.

I possibili sistemi di produzione di energia rinnovabile presi in esame sono stati: il fotovoltaico, l'idroelettrico, il teleriscaldamento a biomassa e l'aerogenerazione eolica. Di ciascuno è stato svolto uno studio di fattibilità riferito all'area studio e particolare attenzione è stata rivolta allo sfruttamento della risorsa eolica. Essa è infatti risultata la forma di produzione di energia al momento meglio rispondente alle esigenze di valorizzazione delle risorse del territorio studio e di un loro impiego con resa ottimale.

La ricerca ha previsto sia fasi di monitoraggio delle diverse risorse rinnovabili del territorio, sia fasi teoriche di elaborazione dei dati acquisiti. L'estensione delle rilevazioni svolte, sia in termini spaziali che di durata, ha consentito di disporre di nutrite serie di dati in grado di descrivere e quantificare con precisione le potenzialità in termini di impiego delle risorse naturali a scopo produttivo energetico.

Lo studio comparato delle diverse tecniche di produzione di energia rinnovabile e della loro applicabilità è risultato dunque un metodo particolarmente funzionale per la definizione di un quadro delle priorità negli investimenti per lo sfruttamento delle risorse rinnovabili in una Comunità Montana.

In particolare, lo studio della produzione di energia elettrica da risorsa eolica è stato affrontato coniugando un approccio di tipo tecnico, finalizzato all'ottimizzazione della produzione, con uno di tipo analitico-territoriale e paesaggistico, orientato alla corretta progettazione di un parco eolico nel paesaggio montano. I due filoni dell'indagine sono stati elaborati parallelamente in un'ottica di complementarità, a partire dallo stato dell'arte della letteratura internazionale relativa ai settori scientifici coinvolti. La ricerca ha così permesso di delineare un percorso di analisi unitario composto da fasi di studio ricadenti negli ambiti di approfondimento di discipline diverse: l'analisi territoriale, l'ingegneria industriale, l'ingegneria ambientale, la pianificazione paesaggistica.

L'elaborazione di una metodologia per lo svolgimento dell'analisi di impatto paesaggistico di un parco eolico è stato uno dei risultati intermedi dello studio, per il quale ci si è avvalsi di autorevoli studi di livello internazionale che sono stati oggetto di una rielaborazione critica e di approfondimenti specifici. L'applicazione del metodo alla realtà indagata ha infatti permesso di validarne le potenzialità in termini di analisi comparativa, anche attraverso l'impiego di tecniche di modellazione spaziale e rendering fotorealistico.

Con riferimento all'obiettivo di valutare l'applicabilità delle principali forme di produzione di energia da fonte rinnovabile in un territorio montano, sono risultate praticabili e sostenibili alcune soluzioni relativamente ad impianti fotovoltaici, micro-idroelettrici, di teleriscaldamento a biomassa ed eolici. L'applicazione congiunta di tali soluzioni consente di coprire il fabbisogno energetico dell'area in misura del 6%. Evidentemente, quindi, affinché le fonti energetiche rinnovabili possano contribuire in maniera massiccia a coprire il fabbisogno locale, non sono sufficienti impianti del tipo di quelli studiati nella presente ricerca. Essi dovrebbero essere accompagnati da una riduzione dei consumi e da una maggiore diffusione di impianti di produzione energetica. Tali sviluppi potrebbero essere conseguiti nel medio-lungo periodo, attraverso la politica di miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici, pubblici e privati. In tal modo si potrebbe ridurre il fabbisogno energetico, introducendo tecnologie costruttive in grado di garantire elevati risparmi sui consumi; allo stesso tempo gli edifici potrebbero essere dotati di impianti autonomi di produzione energetica,

come ad esempio i pannelli solari termici e fotovoltaici, che contribuirebbero in maniera diffusa alla copertura dei consumi.

Bibliografia

Pubblicazioni scientifiche

- Alvarez-Farizo B., Hanley N., 2001 “Using conjoint analysis to quantify public preferences over the environmental impacts of wind farms. An example from Spain”. *Energy Policy* 30 (2002) 107–116.
- Bartolazzi A., 2006. “Le energie rinnovabili”. Milano, Hoepli.
- Becchi G.A., 2001. “Le energie rinnovabili e la politica energetica”. ISES Italia.
- Bishop I., 2002. “Determination of thresholds of visual impact: the case of wind turbines”. *Environment and Planning B: Planning and Design* 2002, volume 29, pages 707 - 718.
- Buchan N., 2002. “Visual Assessment of Windfarms: Best Practice”. University of Newcastle, Report No. F01AA303A.
- Celso P., 1998. “Guida all'idroelettrico minore – Per un corretto approccio alla realizzazione di un piccolo impianto”. Bruxelles, ESHA.
- Forconi P., Fusari M., 2002 “Analisi dell'impatto degli impianti eolici sulla fauna e criteri di mitigazione”. Convegno “L'eco-compatibilità delle centrali eoliche nell'Appennino umbro-marchigiano” – Centro Studi Eolici – Fossato di Vico (PG) 22 marzo 2002.
- Gariboldi A., Rizzi V., Casale F., 2000 “Aree Importanti per l'Avifauna in Italia”. BirdLife International & Ministero per le Politiche Agricole e Forestali.
- Greppi M. , 2005. “Idrologia”, Milano, Hoepli.
- Hurtado J., Fernández J., Parrondo J., Blanco E., 2003. “Spanish method of visual impact evaluation in wind farms”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 8 (2004) 483–491.
- Imperato L., 2005. “Energia Eolica: Aspetti normativi, tecnologici e ambientali”.
- Lavagnini A., 2005. “Analisi dei dati di vento per la caratterizzazione dei siti”. Istituto di scienze dell'atmosfera e del clima, ISAC-CNR, Roma.
- Pallabazzer R., 2004. “Sistemi Eolici”, Palermo, Rubettino.
- Paoli L., 2001. “Energie rinnovabili, impieghi su piccola scala”. CAST, Milano, Il Rostro.
- Ramachandra T.V., Shruthi B.V., 2004. “Wind energy potential mapping in Karnataka, India, using GIS”. *Energy Conversion and Management* 46 (2005) 1561–1578.
- Sahin A.D., 2004 “Progress and recent trends in wind energy”, Energy Group, Department of Meteorology, Istanbul Technical University, Maslak, 34469 Istanbul, Turkey.

Manualistica

- “Biomasse per l'energia”, 2004. Napoli, fondazione IDIS, Città della Scienza, ISES Italia.

“Energia eolica: aspetti tecnici, ambientali e socio-economici”, 2000. ENEA Unità Comunicazione e Informazione.

“European Wind Atlas”, 1990. Riso, Roskilde.

“Fotovoltaico, guida per progettisti e installatori”, 2004. Napoli, Fondazione IDIS, Città della scienza, ISES Italia.

“L’energia fotovoltaica”, collana I quaderni dell’energia, 1992. Roma, ENEL.

“Manuale di Ingegneria”, 1996. Zanichelli ESAC.

Leggi e normative

UNI 8477/1983. Energia Solare. Calcoli degli apporti per applicazioni in edilizia. Valutazione dell’energia raggiante ricevuta. UNI, Milano.

Decreto del Presidente del consiglio dei ministri 1 marzo 1991, “Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell’ambiente esterno”.

Giunta Regionale della Regione Marche. Deliberazione 16 luglio 2002 n. 1324 “Procedure di valutazione di impatto ambientale (VIA): Impianti industriali per la produzione di energia mediante lo sfruttamento del vento. Criteri ed indirizzi per la loro valutazione”.

Giunta Regionale della Regione Toscana. “Linee guida per la valutazione dell’impatto ambientale degli impianti eolici”. Bozza di lavoro ultima versione aprile 2003.

Giunta Regionale della Regione Puglia. Linee guida per la realizzazione di impianti eolici nella Regione Puglia. Gennaio 2004.

Giunta Regionale Emilia-Romagna, Servizio Politiche Energetiche, 2002. “Piano Energetico Regionale”.

Regione Emilia-Romagna, 2000. Schede “Natura 2000”.

Riferimenti web

Enel Green Power: Rapporto con l’ambiente, in:
http://enelgreepower.enel.it/it/energia/eolico/rapp_ambiente.html

Enel Green Power: Tecnologia, in:
<http://enelgreepower.enel.it/it/energia/eolico/tecnologia.html>